

УДК 620.9:338; 620.9:658; 620.9:338.26; 620.9.001.18

УКПП

№ Державної реєстрації 0122U000769

Інв. №

**Міністерство освіти і науки України**  
Сумський державний університет (СумДУ)  
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2; тел. 38(0542)68-78-35  
info@inform.sumdu.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
д-р фіз.-мат. наук, професор

\_\_\_\_\_ А.М. Черноус

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
Трансфер зелених інновацій в енергетиці України: мультиплікативна  
стохастична модель переходу до вуглецево-нейтральної економіки  
**ФОРМУВАННЯ ПАТЕРНІВ ТРАНСФЕРУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ІННОВАЦІЙ:**  
**МЕТОДОЛОГІЯ, СВІТОВИЙ ДОСВІД, ЕМПІРИЧНИЙ АНАЛІЗ**  
(проміжний)

Керівник НДР  
доктор екон. наук, доцент

Т.В. Пімоненко

2022

Рукопис закінчено 16 грудня 2022 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 22.12.2022 №7

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, Головний науковий співробітник., д.е.н, доц.	24.12.2022	Т.В. Пімоненко (реферат, вступ, підрозділи 1.1, 3.1, 3.2, висновки)
Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, к.е.н.	24.12.2022	І.А. Вакуленко (підрозділи 1.2, 1.3)
Виконавці: Старший науковий співробітник, к.е.н., доц.	24.12.2022	Ю.Т. Матвєєва (підрозділ 2.1)
Старший науковий співробітник, к.е.н., доц.	24.12.2022	М.Г. Мінченко (підрозділи 1.1, 3.1, 3.2, 3.3)
Старший науковий співробітник, д.е.н., доц.	24.12.2022	Ю.В. Єльнікова
Молодший науковий співробітник	24.12.2022	К.В. Голиченко (підрозділи 1.1, 3.1, 3.2, 3.3)
Виконавець за договором ЦПХ, к.е.н., доц.	24.12.2022	Л.Ю. Сагер (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором ЦПХ, д.е.н., доц.	24.12.2022	І.В. Тютюнник (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором ЦПХ, к.е.н.	24.12.2022	Є.А. Зябіна (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором ЦПХ, к.е.н.	24.12.2022	Я.В. Самусевич (підрозділ 3.1)

Виконавець за договором ЦПХ, к.е.н., доц.	24.12.2022	В.І. Вороненко (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором ЦПХ, аспірант	24.12.2022	Л.М. Хоменко (підрозділ 1.2)
Виконавець за договором ЦПХ, аспірант	24.12.2022	Я.О. Ус (підрозділ 1.2)
Виконавець за договором ЦПХ, аспірант	24.12.2022	О.В. Колотіліна (підрозділ 1.2)
Виконавець за договором ЦПХ, студент	24.12.2022	В.К. Тимощенко (підрозділ 2.2)
Виконавець за договором ЦПХ, студент	24.12.2022	В.В. Петрина (підрозділ 1.1)
Виконавець за договором ЦПХ, студент	24.12.2022	А.Я. Пушкар (підрозділ 2.2)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 69 с., 22 рис., 4 табл., 71 джерело.

ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГІЯ, ВУГЛЕЦЕВО-НЕЙТРАЛЬНА ЕКОНОМІКА, ЕНЕРГЕТИЧНА БІДНІСТЬ, ЕНЕРГОМЕРЕЖА, ІННОВАЦІЇ, СТЕЙКХОЛДЕРИ.

Об'єкт наукової роботи – економічні відносини, що виникають у ланцюзі від створення зелених енергоінновацій до їх масштабування та формування саморегульованої вуглецево-нейтральної економічної системи.

Предмет наукової роботи – методологічні положення та методичний інструментарій багатокритеріального моделювання найбільш ефективного та швидкого трансферу енергоінновацій, що створить основу дорожньої карти переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

Мета – формалізація оптимальних умов для вертикального/горизонтального кроссекторного трансферу енергоінновацій на основі розробленої стохастичної KTT-GSCM моделі, яка стане основою для формування дорожньої карти оптимізації траєкторії переходу до вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки.

В результаті підготовки наукової роботи, виконавцями отримано такі результати:

1. Систематизовано теоретичні підходи до вивчення драйверів переходу до вуглецево-нейтральної економіки .

2. Здійснено аналіз світового досвіду у сфері наукових досліджень щодо подалання енергетичної бідності та підтримки інновацій у сфері відновлюваної енергетики.

3. Розроблено науково-методичний підхід щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційної складової у розвитку відновлювальної енергетики..

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Сучасна концепція енергетичної безпеки: інноваційна складова .....	8
1.1 Інновації в системі енергетичної безпеки: бібліометричний аналіз .....	8
1.2 Кластеризація наукових досліджень розвитку інноваційного потенціалу в енергетиці .....	13
2 Інноваційний драйвер переходу до вуглецево-нейтральної економіки	19
2.1 Науково-теоретичні аспекти стимулювання зелених енергоінновацій в контексті переходу до вуглецево-нейтральної економіки України .....	19
2.2 Науково-методичний підхід щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики .....	28
3 Енергетична політика трансформування енергетичної системи в умовах глобальних викликів .....	37
3.1 Розвиток нової енергетичної парадигми та вплив COVID-19 на довкілля та зміни клімату .....	38
3.2 Сучасний стан та тенденції розвитку енергетичного ринку	44
3.3 Інвестиційна складова інноваційного розвитку енергетичного сектору .....	52
Висновки .....	57
Перелік джерел посилання .....	60

## ВСТУП

Кліматичні зміни, які спостерігаються у глобальному масштабі, несуть руйнівні наслідки через зростання кількості несприятливих природних явищ та погіршення умов життєдіяльності значної частки населення планети.

Подальший економічний розвиток на принципах пріоритетності економічних показників над усіма іншими загрожує завдати людству непоправної шкоди та призвести до незворотних змін у навколишньому середовищі.

Попри тривалий скептицизм бізнес-еліт та владних органів по всьому світу, які зацікавлені в швидкому економічному зростанні, наслідки кліматичних змін стали настільки помітними, що їх не можна ігнорувати надалі.

Концепція сталого розвитку покликана збалансувати інтереси сьогоденного економічного зростання та збереження прийнятних умов функціонування людства у майбутньому. Однак реалізація, закладених у концепції принципів, потребує ефективних дій у кожному з напрямків, які впливають на стан довкілля та якість життєвого середовища. Ключовими сферами економічної активності, що справляють найбільш негативний вплив на довкілля та провокують кліматичні зміни, є промисловість, сільське господарство та енергетика. У кожному з цих напрямків відбуваються зміни, спрямовані на застосування екологічно безпечних технологій та процесів, які мінімізують шкоду довкіллю та спрямовані на протидію кліматичним змінам. Сукупність цих процесів сприяє переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

Найбільша проблема енергетичного сектору полягає у широкому використанні невідновлюваних джерел енергії, видобуток та споживання яких призводить до значної кількості викидів парникових газів до атмосферного повітря. Загальноприйнятими вважаються два способи вирішення цієї проблеми. Перший спосіб полягає у скороченні споживання енергетичних

ресурсів, що є сумнівним з огляду на висхідну статистику споживання енергоресурсів з другої половини ХХ століття до сьогодні. Другий спосіб полягає у заміщенні невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними та екологічно безпечними.

Розвиток відновлюваної енергетики потребує подолання двох критично важливих бар'єрів. Перший – економічна ефективність. Другий – технологічна досконалість. Успішні локальні проєкти відновлюваної енергетики можуть бути непридатними для масштабування. Дві умови мають виконуватися одночасно. Технології, які застосовуються, мають бути адаптивними та розрахованими на виробництво, транспортування та розподіл значних обсягів енергії. Також використання цих технологій має бути економічно доцільним.

Протидія негативним кліматичним змінам та перехід до вуглецево-нейтральної економіки мають критичне обмеження – час. Щоб уникнути незворотної кліматичної катастрофи необхідно впроваджувати наявні технології переходу до екологічно безпечної енергетики зараз, незважаючи на наявні питання щодо досконалості технологій та їхньої економічної ефективності. Відповідно необхідним є досягнення оптимального в наявних умовах балансу між економічними та екологічними (і кліматичними) інтересами та формування ефективних моделей трансферу енергоінновацій.

# **1 СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ: ІННОВАЦІЙНА СКЛАДОВА**

Енергетична галузь є однією із найважливіших галузей народного господарства для будь-якої країни, оскільки від неї залежить ефективне функціонування всіх інших галузей та сфер життєдіяльності суспільства. Важливість дослідження енергетичної сфери також відзначається міжнародними організаціями, зокрема Організація Об'єднаних Націй у контексті ключових напрямків сталого розвитку країн акцентує увагу на необхідності розвитку екологічно чистої та доступної енергетики заради того, щоб забезпечити людству доступ до прийнятних за ціною, надійних, сталих та сучасних джерел енергії [1]. Саме тому дослідження, що стосуються енергетичної безпеки загалом та її інноваційної складової зокрема, викликають підвищений інтерес як з боку наукової спільноти, так і з боку міжнародних організацій та урядів різних країн. Враховуючи вище сказане, доцільним подальше вивчення питань, пов'язаних із енергетичною безпекою та роллю інновацій у її забезпеченні.

## **1.1 Інновації в системі енергетичної безпеки: бібліометричний аналіз**

Важливим є кількісний аналіз наукових публікацій, а також огляд літератури, для ознайомлення із наявними напрацюваннями науковців у даній галузі. Інформація для дослідження була взята з наукометричної реферальної БД Scopus. Для аналізу були взяті виключно англomовні публікації. У рамках дослідження було сформовано два пошукові запити:

– «energy security» or «energy safety» (даний запит сформовано для відображення масштабів значимості досліджень у галузі енергетичної безпеки);



– «energy security» or «energy safety» and «innovation» (запит сформовано для аналізу публікацій, у яких досліджується енергетична безпека та інновації).

Аналіз досліджень з питань енергетичної безпеки показав, що з початком XXI століття спостерігається зростання інтересу з боку науковців до даного питання. Підтвердженням цьому є зростання динаміки досліджень у цьому напрямі. Зокрема, за даними БД Scopus за період 1977-2022 рр. нараховується близько 12500 публікацій, які стосуються енергетичної безпеки, близько 12300 документів опубліковано у період з 2001 по 2022 роки (рис. 1.1).

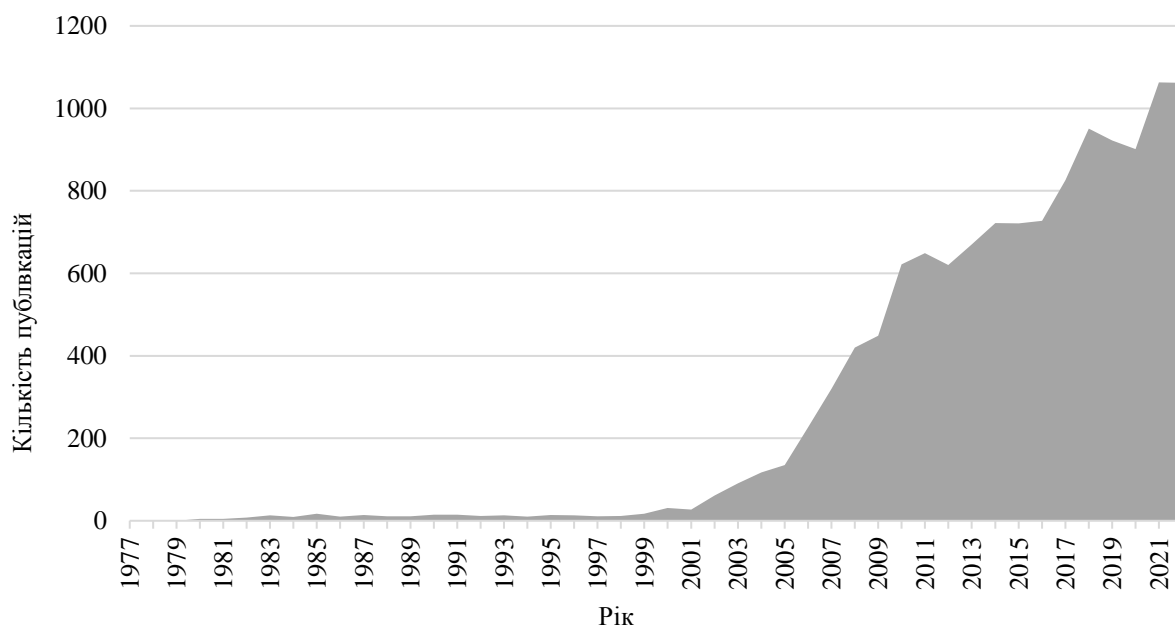


Рисунок 1.1 – Динаміка кількості публікацій з питань енергетичної безпеки за 1977-2022 рр. (розроблено авторами на основі аналізу даних БД Scopus)

Як можемо бачити з рисунку 1.1, починаючи з 2001 року дійсно спостерігається значне поживлення публікаційної активності в питаннях енергетичної безпеки. Піковим публікаційним періодом є 2021-2022 рр. Таким чином, можна зробити висновок, що дослідження енергетичної безпеки та

пов'язаних із нею питань на сьогоднішній день є актуальними для наукової спільноти.

Враховуючи те, що сфера енергетичної безпеки є досить широкою та охоплює різні напрями наукових досліджень у різних галузях, в рамках нашого дослідження вважаємо доцільним звузити вивчення енергетичної безпеки з погляду її взаємозв'язків з інноваціями як фактором досягнення сталого розвитку. Для дослідження взаємозв'язків між енергетичною безпекою та інноваціями у БД Scopus було сформовано наступний пошуковий запит: «energy security» or «energy safety» and «innovation». У результаті було знайдено 470 документів, де обрані для пошуку ключові слова зустрічалися або у назві публікацій, або у короткому описі до них, або у ключових словах. На рисунку 1.2 представлено розподіл публікацій по роках.

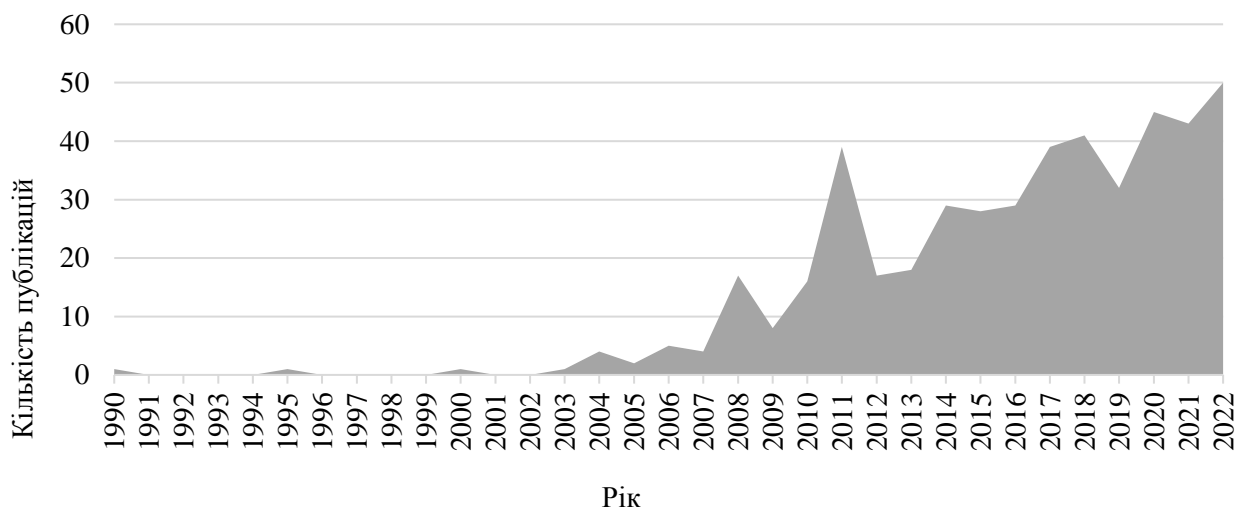


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості публікацій з питань енергетичної безпеки та інновацій за 1990-2022 рр. (розроблено авторами на основі аналізу даних БД Scopus)

Пожвавлення публікаційної активності науковців спостерігається з 2004 року, про що свідчать дані рисунку 1.2. Також можна відмітити декілька пікових публікаційних періоди – 2011, 2018, 2020 та 2022 роки. Отже,

інноваційна складова енергетичної безпеки є актуальним предметом досліджень.

Структурний аналіз предметних галузей, показав, що найбільша кількість публікацій з питань, пов'язаних з енергетичною безпекою та інноваціями приходить на Енергетику (22 %), дещо менший відсоток мають такі галузі як Екологія (16 %), Інженерія (14 %) та Соціальні науки (12 %) (рис 1.3). Переважання саме цих галузей є цілком логічним, оскільки будь-які рішення технологічного характеру у енергетиці можуть впливати на навколишнє середовище та соціум.

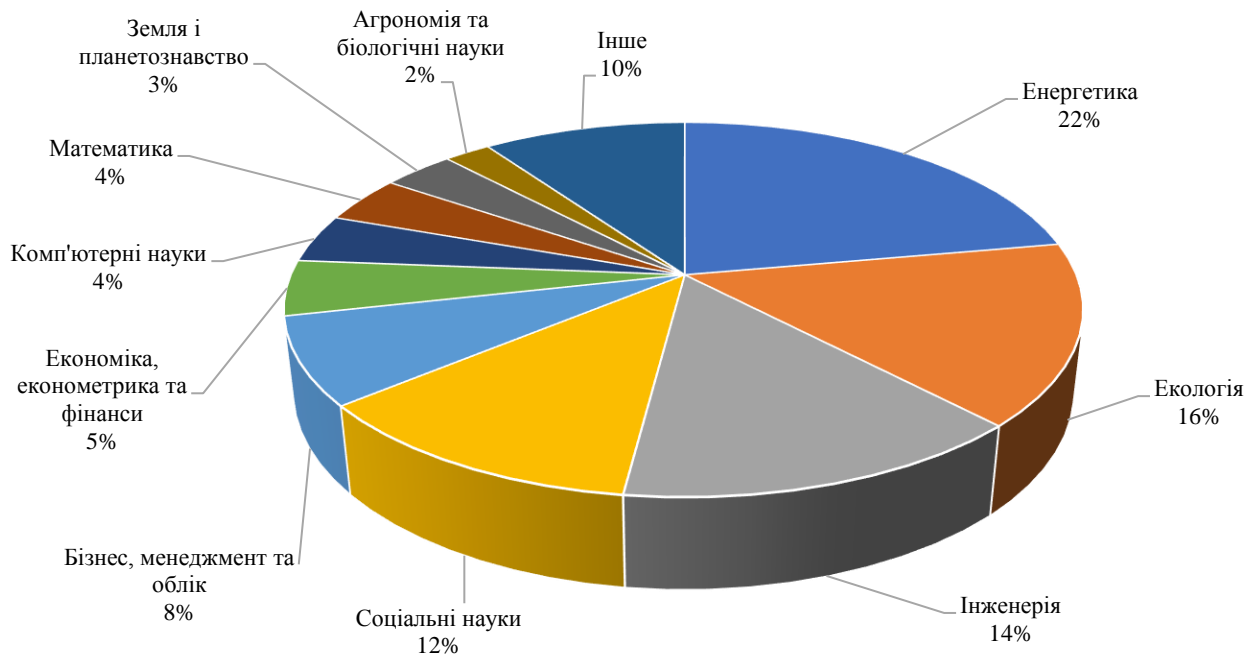


Рисунок 1.3 – Структура предметних галузей, в рамках яких досліджувалися енергетична безпека та інновації (розроблено авторами на основі аналізу даних БД Scopus)

Важливим етапом кількісного аналізу наукових публікацій є дослідження їх географії, що дає змогу визначити країни-центри, які зробили найбільший внесок у розвиток уявлень про досліджуване питання. Аналізуючи географію публікацій (рис. 1.4), можна зробити висновок, що найбільшу увагу дослідженню питань енергетичної безпеки та інновацій

приділяли науковці з США, ними було опубліковано 86 праць. Друге місце за кількістю опублікованих праць належить Китаю – 81 публікація, третє місце посідає Великобританія – 58 робіт. Важливо відмітити, що Україна також зробила свій внесок у розвиток уявлень про зв'язки між енергетичною безпекою на інноваціями. Українськими науковцями було опубліковано 18 праці, які включені до наукометричної БД Scopus.

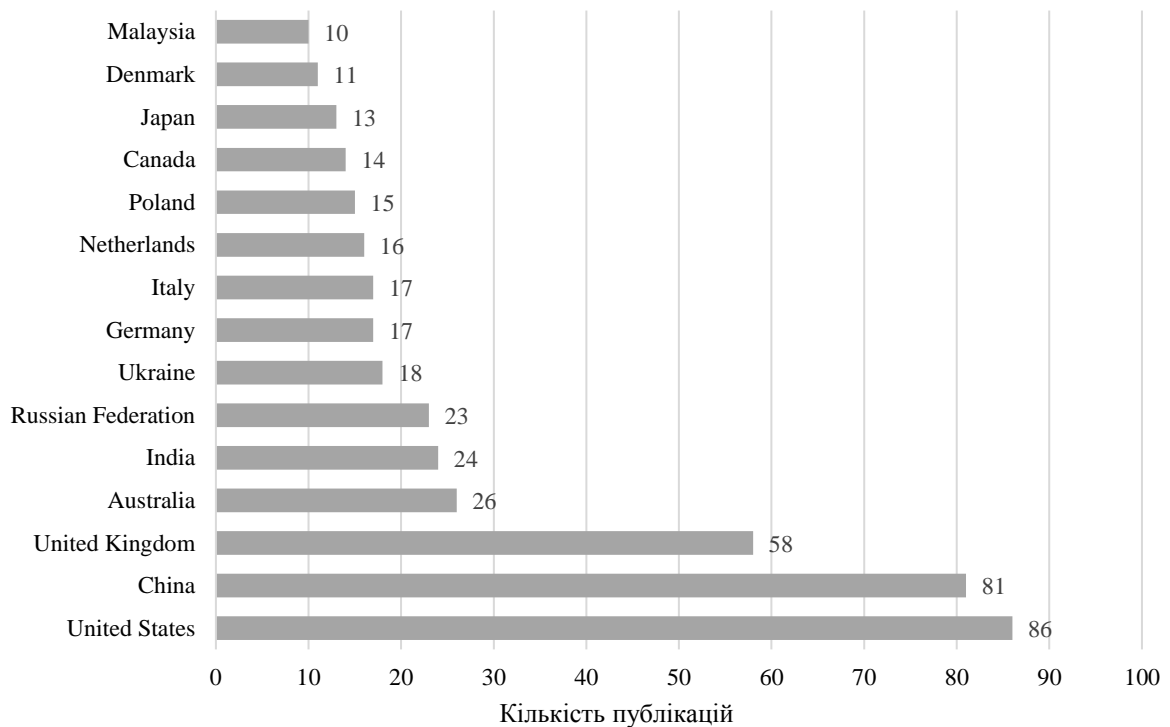


Рисунок 1.4 – Географія публікацій з питань енергетичної безпеки та інновацій за період 1990-2022 рр. (розроблено авторами на основі аналізу даних БД Scopus)

При географічному дослідженні публікацій важливо розуміти, що існує таке явище як наукова кооперація, коли науковці з різних країн співпрацюють в рамках якогось дослідження. У результаті такої співпраці з'являються публікації, які можуть включатися до наукового доробку різних країн. На рисунку 1.5 представлено зв'язки між науковцями з різних країн.

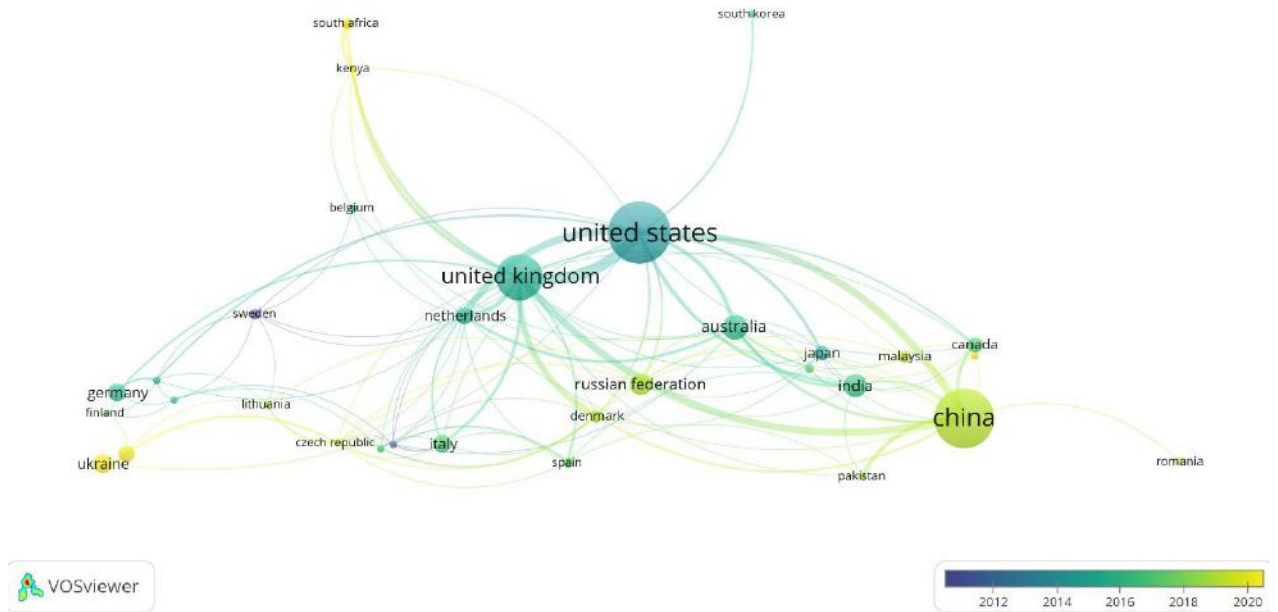


Рисунок 1.5 – Карта приналежності науковців до країн, які досліджували питання, що стосуються енергетичної безпеки та інновацій (розроблено авторами на основі даних БД Scopus та програмного комплексу VOSviewer)

Товщина ліній на карті (рис. 1.5) показує, що найчастіше між собою співпрацюють науковці з США, Великобританії та Китаю, також часто між собою співпрацюють США та Нідерланди, Великобританія та Данія. Проаналізувавши кольорову гаму карти, можна сказати, що Україна, Польща та країни Африки лише в останні декілька років активно зацікавилися питаннями інновацій та енергетичної безпеки. Для США та Великобританії дослідження даного питання не є новим, що не можна сказати про Китай, для якого дослідження даного питання викликало інтерес в останнє десятиліття.

## 1.2 Кластеризація наукових досліджень розвитку інноваційного потенціалу в енергетиці

Для визначення основних напрямів у наукових дослідженнях з питань зв'язку інновацій з енергетичною безпекою здійснимо бібліометричний аналіз публікацій за ключовими словами, що дасть змогу виявити найпопулярніші

тематичні спрямування у вивченні взаємозв'язків двох предметних областей – «інновації» та «енергетична безпека». Даний аналіз проводиться за допомогою програмного комплексу VOSviewer. Отже, у результаті проведеного аналізу на основі 151 ключового слова, які зазначені в досліджуваних публікаціях, вдалося виокремити п'ять кластерів (рис. 1.6), які у собі поєднують набір понять із найбільшою тісністю кореляції. Представлені п'ять кластерів разом мають загальну суму посилань між ключовими словами 4231 із загальною силою зв'язку 10318.

Червоним кольором позначено перший кластер, у який входить 39 ключових слова. У цьому кластері об'єднуються такі ключові слова, як «парникові гази», «вуглекислий газ», «викиди газу», «горючі корисні копалини», «вуглець», «контроль викидів», «глобальне потепління» та інші. Цей кластер охоплює публікації, що спрямовані на пошук ефективних та безпечніших методів видобутку сланцевого газу, які дадуть можливість мінімізувати негативний вплив від такого видобутку на навколишнє середовище [2]. Окремі дослідження стосуються пошуків нових технологій утилізації вуглекислого газу та шляхів скорочення його викидів у атмосферу [3, 4, 5]. Такі дослідження можуть мати на меті декілька цілей: забезпечення енергетичної безпеки, зменшення масштабів глобального потепління, збільшення інвестування технологічних інновацій, які стосуються переходу до відновлюваної енергетики, тощо.

Зелений кластер за величиною є таким же, як і червоний. Він включає в себе 39 ключових слів, серед яких «інновації», «альтернативна енергетика», «технології», «технологічні інновації» та інші. Загалом, дослідження цього кластеру пов'язані із вивченням різних технологічних інновацій, які є ключем до забезпечення енергетичної безпеки через енергозбереження, підвищення енергоефективності та скорочення шкідливих викидів. Зокрема, науковцями досліджуються важливість подальшого розвитку технологій силової електроніки для сталого перетворення енергії [6], шляхи створення екологічно чистого палива [7]. Окрім цього, досліджуються наслідки, які може нести в

собі впровадження альтернативної енергетики, як для окремих країн, так і для світу загалом [8, 9].

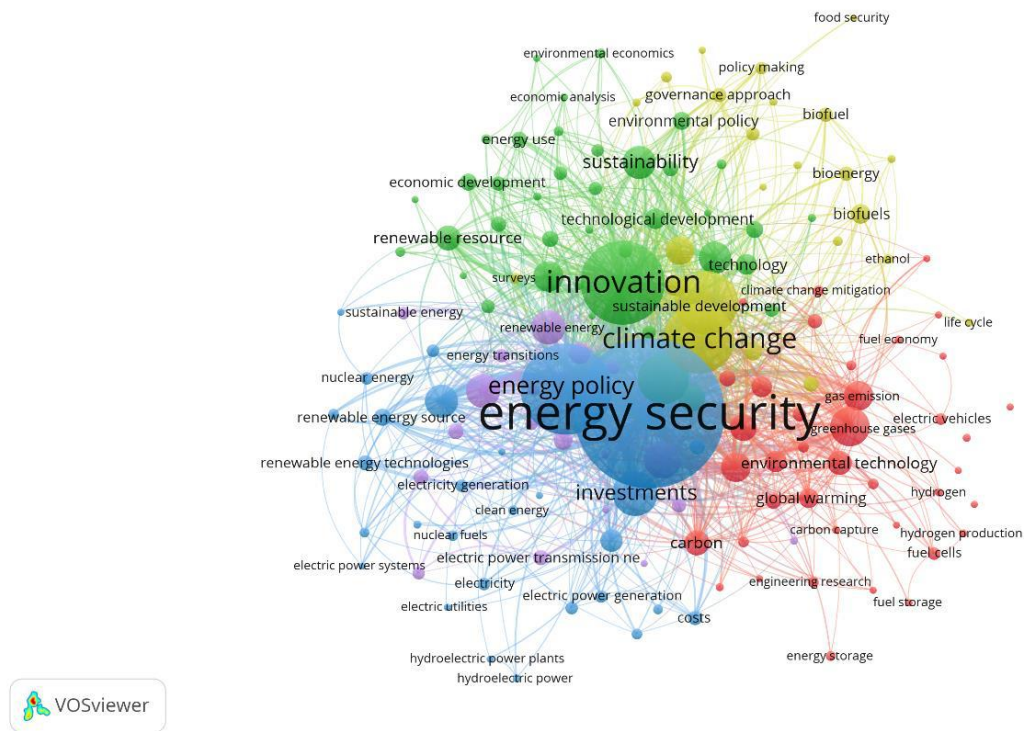


Рисунок 1.6 – Наукометрична карта за ключовими словами вибраних публікацій у сфері дослідження енергетичної безпеки та інновацій (розроблено авторами на основі даних БД Scopus та програмного комплексу VOSviewer)

Синім кольором позначено третій за розміром кластер, що включає в себе 30 ключових слів, які об'єднані навколо понять «енергетична безпека» та «енергетична політика». У цьому кластері об'єднуються дослідження, які стосуються аналізу енергетичної безпеки та методів її вимірювання, впливу політики на впровадження відновлюваних джерел енергії [10, 11].

Жовтий кластер включає 24 ключових слова. Він об'єднує такі поняття, як «зміна клімату», «сталий розвиток», «біоенергетика», «біомаса», «біопаливо» та інші. Публікації, що об'єднані цим кластером, відображають дослідження, які стосуються розвитку біоенергетики як у світі, так і в окремих

регіонах, викликані глобальними змінами клімату та навколишнього середовища [12-15].

П'ятий кластер позначено фіолетовим кольором та складається з 19 ключових слів, серед яких: «відновлювальна енергія», «енергозбереження», «енергетичні технології», «енергія вітру», «розумна мережа», тощо. Даний кластер об'єднує роботи, спрямовані на дослідження відновлюваної енергії, зокрема використання енергії вітру. Науковці досліджували еволюцію енергії вітру та яким чином вітрові технології впливатимуть на глобальну енергетику [16, 17].

Таким чином, проведена кластеризація ключових слів дала змогу виокремити основні напрямки у дослідженнях питань енергетичної безпеки та інновацій.

За допомогою програмного комплексу VOSviewer також можна аналізувати хронологію появи ключових слів, яка дає можливість виявити нові та більш усталені напрями у дослідженнях науковців. На рисунку 1.7 представлена наукометрична карта, що відображає хронологічну появу ключових слів у дослідженнях. Кольорова гама карти змінюється від синього кольору до жовтого, де синім позначено більш ранні ключові слова, а жовтий колір вказує на поняття, які у дослідженнях зустрічаються відносно нещодавно.

Аналізуючи рисунок 1.7, можна зробити висновок, що дослідження, які пов'язані зі сталим розвитком, відновлюваною енергетикою, вуглецевим слідом є відносно новими напрями для вивчення. До більш пізніх досліджень можна віднести ті, що пов'язані із вивченням змін клімату, глобального потепління, викидів газу, відновлюваних ресурсів, тощо.

Таким чином, у результаті проведеної роботи було встановлено, що спостерігається стабільне зростання інтересу до вивчення питань, які стосуються дослідження енергетичної безпеки та інновацій. На це вказує щорічне зростання публікацій, присвячених даному питанню.



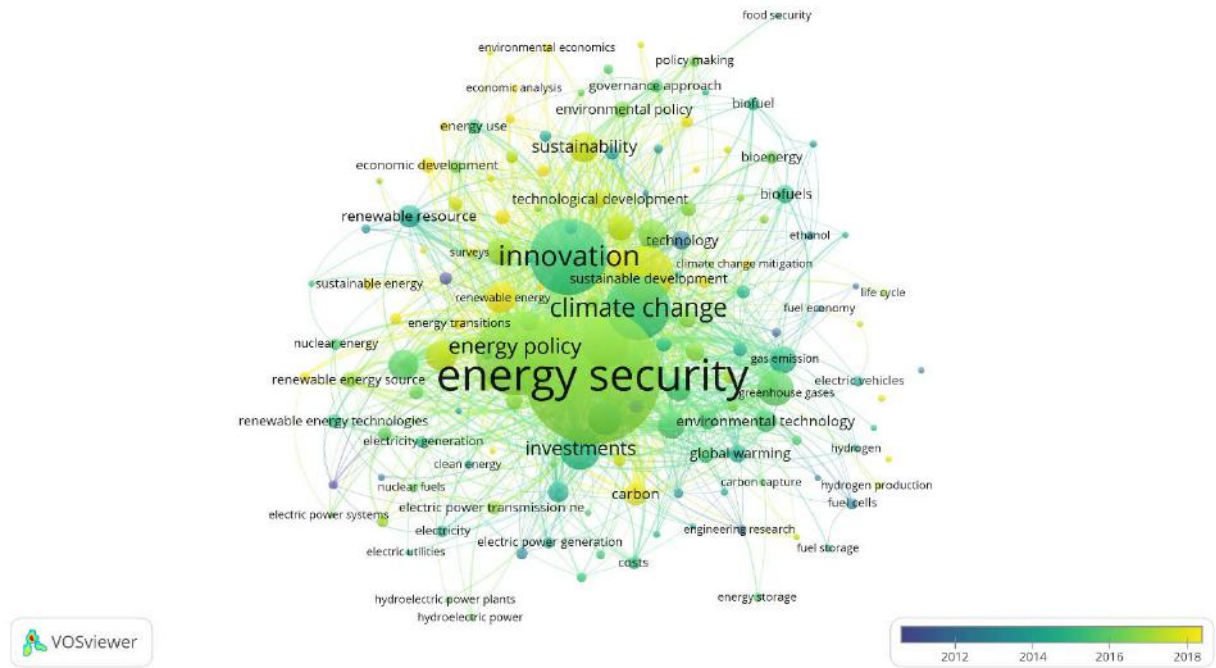


Рисунок 1.7 – Наукометрична карта, що відображає хронологічну появу ключових слів вибраних публікацій у сфері дослідження енергетичної безпеки та інновацій (розроблено авторами на основі даних БД Scopus та програмного комплексу VOSviewer)

Значний вклад у розвиток уявлень про взаємозв'язки між енергетичною безпекою та інноваціями внесли науковці з США, Китаю та Великобританії. Проведена кластеризація ключових слів дозволила виокремити основні напрями досліджень у цій сфері. Характерним є те, що всі ці напрями об'єднані навколо одних цілей: забезпечення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку суспільства, збереження навколишнього середовища, зменшення масштабів глобального потепління. Варто також зауважити, що більшість інноваційних технологій енергетичної сфери направлені на покращення енергоефективності та підвищення енергозбереження, а також зниження використання викопних паливних ресурсів за рахунок розширення використання відновлюваної енергії. Зокрема, у 2019 році частка первинної енергії, яка генерувалася з відновлювальних

джерел енергії складала 5 % від світового виробництва електроенергії, а вже у 2021 році цей показник зріс до 13 % [18]. Враховуючи нові реалії, в яких опинився світ, та виклики, що з ними пов'язані, необхідно поглиблювати вивчення даної теми для побудови ефективних механізмів забезпечення енергетичної безпеки з урахуванням інноваційних технологій, які мають не лише забезпечити людству доступ до енергії, а й при цьому забезпечити досягнення поставлених цілей сталого розвитку суспільства.

## **2 ІННОВАЦІЙНИЙ ДРАЙВЕР ПЕРЕХОДУ ДО ВУГЛЕЦЕВО-НЕЙТРАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ**

### **2.1 Науково-теоретичні аспекти стимулювання зелених енергоінновацій в контексті переходу до вуглецево-нейтральної економіки України**

В сучасних умовах створення та впровадження зелених енергоінновацій має вирішальне значення для формування енергетичного балансу та формування вуглецево-нейтральної економіки в контексті досягнення сталого розвитку країни.

Вагомий внесок у дослідження енергоефективних інновацій зробили вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема: Ю. Білан [19], Т. Васильєва [19, 20], А. Войцеховський [19], М. Моравський [19], О. Кубатко [21-23], А. Дериколенко [22], О. Карінцева [22], Л. Мельник [22-23], І. Дегтярьова [22-23], С. Колосок [19, 24], Ю. Мирошніченко [24], Фальштинський В. [25].

Вивченню різних аспектів впливу драйверів інноваційних технологій на енергетичний сектор присвячені праці А. Шакіру [26], Ненг Шен [27], М. Тваронавічене [28], П. Керр [29] та ін.

Необхідно зазначити, що світовий досвід відіграє вагому роль у переході України до вуглецево-нейтральної економіки через використання енергоефективних інновацій. Адже визначається ряд країн, які мають значні успіхи у розробці та впровадженні інноваційних технологій в енергетиці. Виявлення та узагальнення стимулів, інструментів та методик інноваційної діяльності в контексті забезпечення енергетичної ефективності, які використовуються можуть бути застосовані в Україні. Таким чаном доцільним є використання case-study методу з метою формування концептуальної моделі стимулювання інноваційної діяльності в контексті забезпечення енергетичної ефективності.

Визначити країни, рівень зацікавленості яких у стимулюванні інноваційної діяльності є досить високим можна за допомогою програмних засобів, таких як БД Scopus®, VOSviewer (версія 1.6.16), Google trends.

Таким чином, на базі застосування БД Scopus® було отримано вибірку публікацій без застосування фільтру щодо галузей знань у назвах статей, короткому опису та ключових словах за пошуковими словами «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency». Загалом, вихідна вибірка склала 289 публікацій, зокрема 7 вторинних документів та 2,173 патентів з тематики.

На рисунку 2.1 репрезентовано країни з найвищим рівнем зацікавленості до тематики та кількість публікацій в Україні.

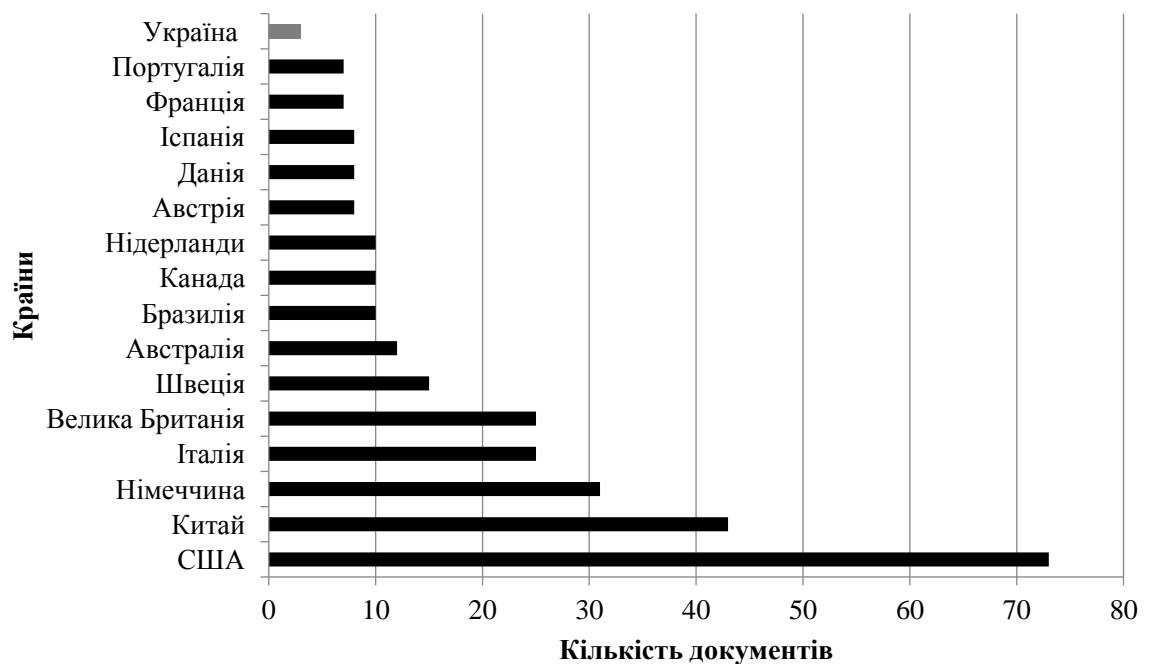


Рисунок 2.1 – Кількість публікацій за країнами в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®)

Найбільшої актуальності досліджувана тематика набула у 2013 році та на сучасному етапі розвитку (рис. 2.2.).

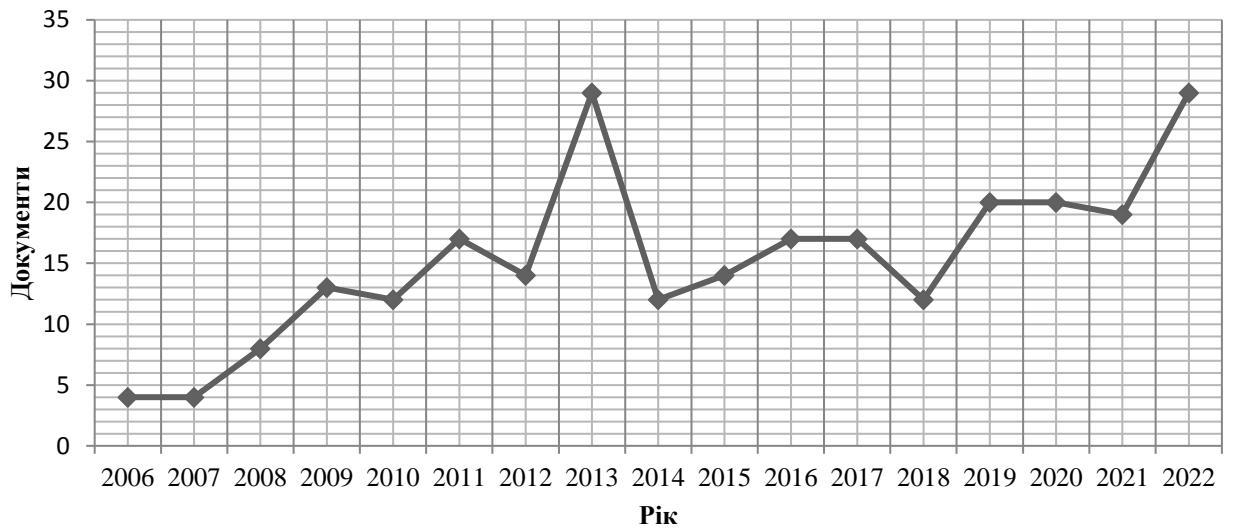


Рисунок 2.2 – Кількість публікацій за 2006-2022 рр. в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®/)

Візуалізація поняттєвої мережі представлена на рис.2.3.

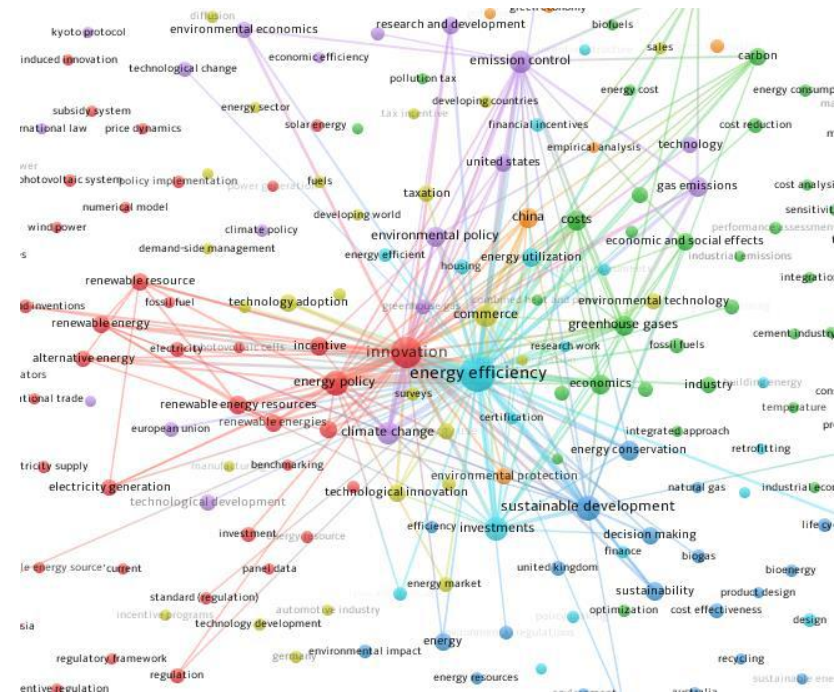

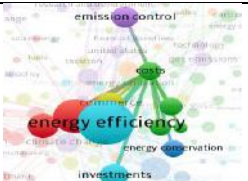


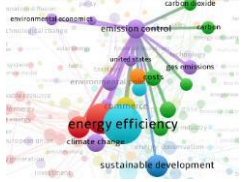




Рисунок 2.3 – Кластери досліджень за фільтрами TITLE-ABS-KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®)

Застосування програмного забезпечення дозволило виокремити сім кластерів досліджень у контексті виявлено впливу інновацій на енергоефективність, табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Кластери досліджень

№	Графічне зображення кластера	Опис кластера
1		<p>Перший кластер (червоний кластер) утворений такими поняттями: енергетична політика, відновлювальні ресурси, генерація електроенергії, smart-grid, альтернативна енергія, політика ЄС. Більше всього зав'язків в першому кластері знайдено за поняттям «інновації».</p>
2		<p>Другий кластер (зелений кластер) включає терміни, пов'язані з вуглецем, вартістю витрат, економічним зростанням, соціальним та економічним ефектом, вартістю енергії, оптимізацією. Більше всього зав'язків у кластері знайдено за поняттям «витрати».</p>
3		<p>До третього кластеру (синього кластеру) відносяться такі категорії, як менеджмент навколишнього середовища, збереження навколишнього середовища, життєві цикли, еко-інновації та ін. Більше всього зав'язків у кластері знайдено за поняттям «сталий розвиток».</p>
4		<p>Четвертий кластер (жовтий кластер) сформований таким понятійним апаратом: комерція, технології навколишнього середовища, мотивація, енергетичний ринок, «технологічні інновації». В кластері наділяють увагу досвіду Німеччини.</p>
5		<p>П'ятий кластер (бузковий кластер) містить такі чинники, як зміна клімату, викиди вуглецю та їх контроль, міжнародні закони, технологічні зміни та вдосконалення. Більше всього зав'язків у кластері знайдено за поняттям «контроль викидів». Ураховується досвід північної Америки та США</p>
6		<p>Шостий кластер (голубий кластер) пов'язаний з інвестиціями, законами та стандартами, утилізацією енергії, сертифікацією, розбудовою енергії, політичними інструментами. Більше всього зав'язків у кластері утворено за поняттям «енергетична ефективність».</p>
7		<p>Сьомий кластер (помаранчевий кластер) сформований за рахунок досліджень досвіду Китаю. Саме за цією країною більше всього зав'язків у кластері. Кластер містить захист навколишнього середовища, зелені інновації та економіка.</p>

Програмне забезпечення VOSviewer (версія 1.6.16) дозволяє сфокусувати увагу на найбільш актуальних дослідженнях в контексті вивчення тематики стимулювання інноваційної діяльності в галузі забезпечення енергетичної ефективності, рис. 2.4.

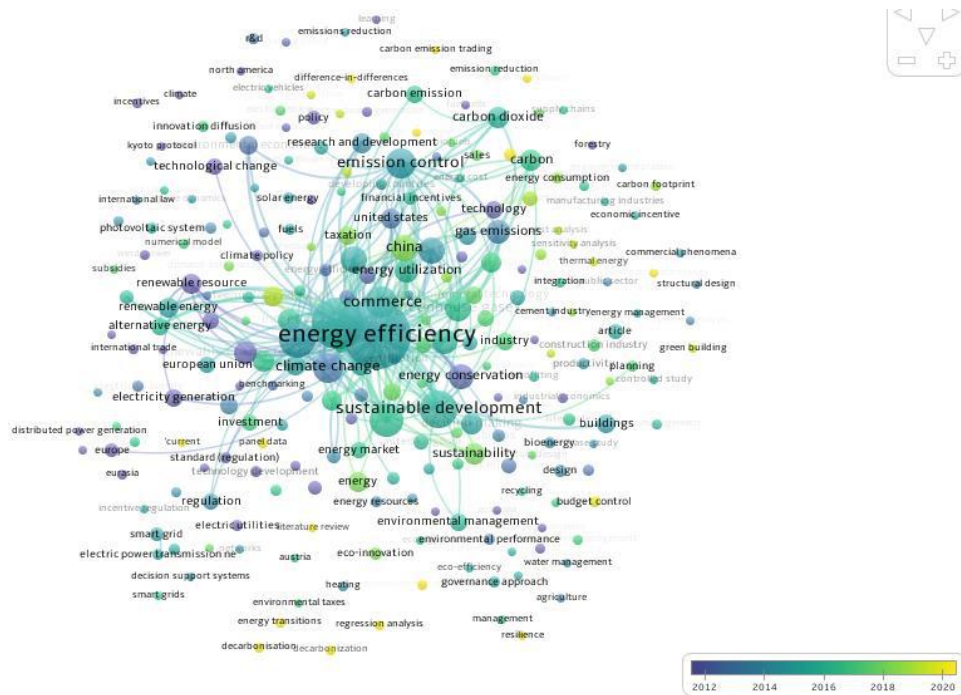


Рисунок 2.4 – Фокус на актуальність досліджень за фільтрами TITLE-ABS-KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» (побудовано авторами на основі даних БД Scopus® та VOSviewer (версія 1.6.16))

До тематики стимулювання інноваційної діяльності в галузі забезпечення енергетичної ефективності належать такі найбільш актуальні аспекти: декарбонізація, енергетичні переходи, технологічні запровадження, податок на забруднення, зелені інновації, мотиваційні фактори, торгівля викидами вуглецю, енергетичні концепції, використання панельних даних, захист навколишнього середовища, оподаткування, оцінка ефективності, термальна енергія, досвід Китаю.

Зокрема в таблиці 2.2 представлено Топ 5 публікацій за кількістю цитування, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY KEY «incentives» AND

«innovations» AND «energy efficiency» в БД Scopus®. В працях досліджуються стимули розвитку інноваційних технологій в галузі забезпечення енергетичної ефективності.

Таблиця 2.2 – Топ 5 публікацій за кількістю цитування, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» в БД Scopus® (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®)

Публікація/ Автори	Цитування праці	Країна	Основні положення
1	2	3	4
Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. Philippe Menanteau, Dominique Finon Marie-Laure Lamy (2003) [30]	540	Франція	Досліджується ефективність різних схем стимулювання виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії. Під час порівняння інструментів автори пропонують враховувати характеристики інноваційного процесу та умови впровадження – невизначеність щодо кривих витрат, ефект навчання – що також означає розгляд динамічних критеріїв ефективності. Автори формують висновок, що система пільгових тарифів є більш ефективною, ніж система торгів, але підкреслюється теоретичний інтерес торгівлі зеленими сертифікатами, який має бути підтверджено практикою, враховуючи вплив ринкових структур.
Environmental and technology policies for climate mitigation. Carolyn Fischera, Richard G.Newel. (2008) [31]	537	Канада, США	Автори оцінюють різні політики щодо зменшення викидів вуглекислого газу, сприяння інноваціям і розповсюдженню відновлюваної енергії. Визначається відносна ефективність політики відповідно до стимулів, наданих для скорочення викидів, підвищення ефективності та інших результатів. Зазначається, що оптимальна політика включає портфель різних інструментів, спрямованих на урахування викидів, навчання, дослідження та розробок.
Energy, the environment, and technological change. Popp, D., Newell, R.G., Jaffe, A.B., (2010), [32]	255	США	Науковці визначають, що надання стимулів для розробки нових екологічно чистих технологій стає центром екологічної політики. Надають аналіз та узагальнення науково-літературних джерел з тематики технологічних змін та навколишнього середовища.



## Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070 (2020), [3 3]	192	США, Канада, Німеччина, Норвегія	Авторами визначено заходи, які, при комплексному використанні, можуть допомогти досягти нульових чистих промислових викидів за необхідний період часу. На думку дослідників стратегічна, добре продумана політика може прискорити інновації та створити стимули для впровадження технологій. Політика високої вартості включає встановлення ціни на викиди вуглецю з коригуванням кордонів або іншими ціновими сигналами; надійну державну підтримку досліджень, розробок і удосконалень, стандартів енергоефективності або викидів. Ця основна політика повинна підтримуватися маркуванням і державними закупівлями продуктів з низьким вмістом вуглецю, вимогами щодо збору даних і розкриття інформації, а також стимулами щодо переробки. При реалізації цієї політики доцільно подбати про справедливий перехід для переміщених працівників і постраждалих громад. Подібним чином декарбонізація має доповнювати людський та економічний розвиток країн із низьким і середнім рівнем доходу.
Dynamic relationship among environmental regulation, technological innovation and energy efficiency based on large scale provincial panel data in China Pan, X., Ai, B., Li, C., Pan, X., Yan, Y., (2019) [3 4]	162	Китай	Дослідниками визначені внутрішні динамічні зв'язки між екологічним регулюванням, технологічними інноваціями та енергоефективністю. Результати аналізу підтверджують існування трьох шляхів поведінки серед екологічного регулювання, технологічних інновацій та енергоефективності: ринкове стимулювання екологічного регулювання безпосередньо сприяє підвищенню енергоефективності; ринкове екологічне регулювання сприяє підвищенню енергоефективності через технологічні інновації; командно-контрольне екологічне регулювання безпосередньо сприяє енергоефективності.

В таблиці 2.3 представлено публікації вітчизняних науковців, які досліджують стимули розвитку інноваційних технологій в галузі забезпечення енергетичної ефективності.

Таблиця 2.3 – Топ 5 публікацій за кількістю цитування, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY KEY «incentives» AND «innovations» AND «energy efficiency» в БД Scopus® (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®)

Публікація/ Автори	Цитування праці	Країна	Основні положення
Renewable energy innovation in Europe: Energy efficiency analysis. Kolosok, S., Myroshnychenko, I., Mishenina, H., Yarova, I. (2021) [24]	11	Україна	Науковцями досліджено важливість інновацій у відновлюваній енергетиці для досягнення інклюзивних і сталих цілей та енергетичної безпеки держави. Основна увага приділяється дослідженню впливу регуляторної політики та фіскальних стимулів на досягнення цілей у відновлюваній енергетиці.
Mechanism of strategic import substitution in Ukraine's economy. Yakymenko, N.V. (2015) [35]	4	Україна	Обґрунтовано орієнтацію України на розвиток нормативно-правового середовища для бізнесу, впровадження механізму стимулювання ресурсоефективності та інновацій, спрямування інвестицій у впровадження нових моделей ресурсо- та енергоефективної техніки і технологій, організацію навчання кадрів та стимулювання залучення приватного капіталу в ці процеси.
Tax incentives for innovation in the energy sector. Laptiev, V., Ivanova, I. (2019) [36]	-	Україна	Авторами запропоновано трирівневу систему проблемноорієнтованого управління людськими ресурсами для стимулювання інноваційної діяльності в енергетиці. Враховується вплив людського фактору на інноваційний розвиток на національному, регіональному рівнях та рівні підприємств. Доведено необхідність заохочення підприємств до найму висококваліфікованих спеціалістів у сфері енергозбереження та енергоефективності. Обґрунтовано роль податкової політики в державному регулюванні раціонального використання енергетичних ресурсів та стимулюванні інноваційної діяльності в енергетиці. Згруповано податкові пільги раціонального використання енергетичних ресурсів, що застосовуються у світовій практиці. Проаналізовано особливості застосування податкових пільг. Запропоновано напрями стимулювання інноваційної діяльності в енергетиці для ефективного використання енергетичних ресурсів.

Результати аналізу наукових публікацій визначають такі основні інструменти стимулювання розвитку відновлюваної та альтернативної енергетики: зелені тарифи, аукціони підтримки ВДЕ, чистий облік енергоспоживання (net metering), net billing, корпоративні угоди про закупівлю електроенергії (corporate power purchase agreements, (PPA)), «зелені» надбавки (feed-in premiums), субсидії та податкові пільги, Six ways that governments can drive the green transition.

Досвід країн, що є провідними у вивченні та впровадженні дієвих стимулів щодо інноваційної галузі в енергетиці дає передумови формування концептуальної моделі (рис. 2.5).

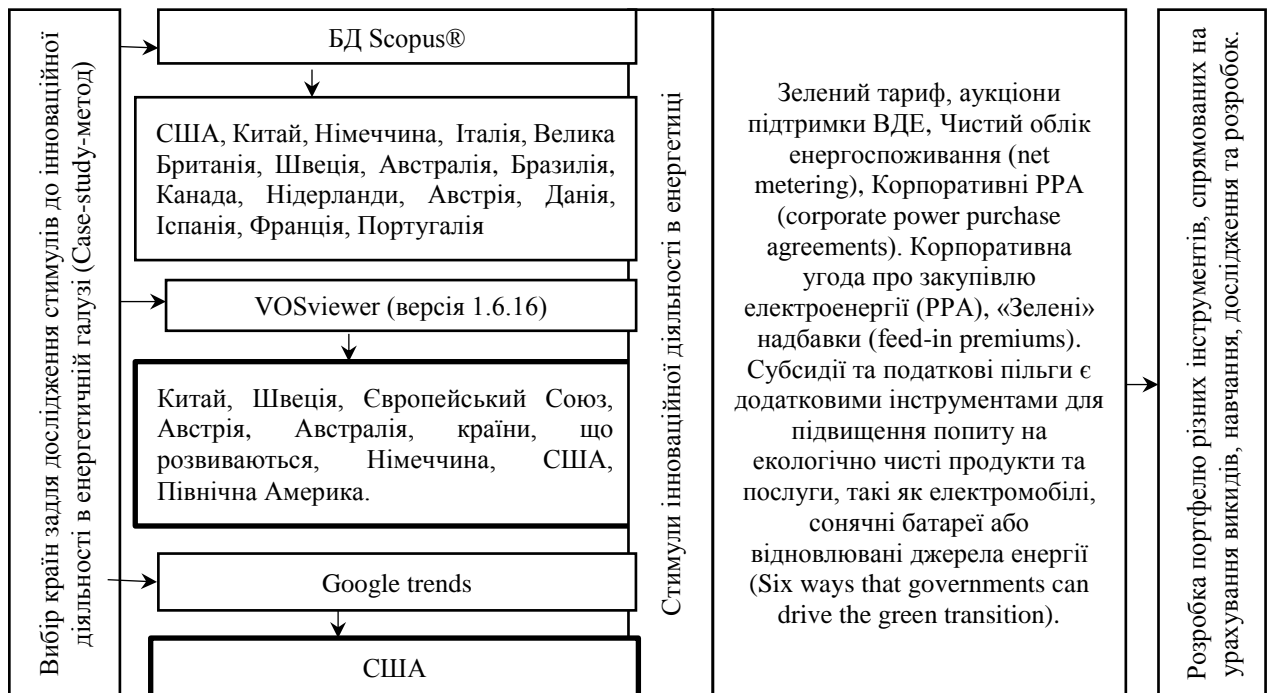


Рисунок 2.5 – Концептуальна схема стимулювання інноваційної діяльності в енергетиці (розроблено авторами)

Сучасні інновації є важливими для економіки та навколишнього середовища. В сучасних наукових та статистично-інформаційних джерелах/звітах систематично порівнюють, аналізують та оцінюють

придатність нових методів інноваційних енерготехнологій щодо реалізації їх в комерційному сенсі.

Case-study-метод передбачає вивчення інноваційних енерготехнологій та розробка портфелю різних інструментів, спрямованих на урахування особливостей території, рівня викидів, НДКР та інші фактори.

## **2.2 Науково-методичний підхід щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики**

Технологічні інновації та інвестиції є драйверами розвитку відновлювальних джерел енергії. Саме тому на особливу увагу заслуговують питання щодо урахування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики.

Для дослідження загальнотеоретичних підходів щодо виявлення ключових інноваційно-інвестиційних факторів в енергетиці була обрана база даних Scopus®, що містить бібліографічні відомості про наукові публікації в рецензованих журналах, книгах та конференціях. Вибірку публікацій отримано без застосування фільтру щодо галузей знань у назвах статей, короткому опису та ключових словах за пошуковими словами «innovative and investment activity» AND «renewable energy». Загалом, вихідна вибірка склала 65 публікацій за 2000-2022 рр. Візуалізація поняттєвої мережі представлена на рис. 2.6. Тематична спрямованість публікацій визначалася в середовищі програмного забезпечення VOSviewer (версія 1.6.16).

Застосування програмного забезпечення дозволило виокремити дев'ять кластерів досліджень у контексті впливу інноваційно-інвестиційних факторів на розвиток відновлювальної енергії.

У червоному кластері (перший кластер) визначено такі складові як технології, технологічні інновації, патенти та винаходи, міжнародна торгівля, захист навколишнього середовища, генерація електроенергії та ін. Більше

всього зав'язків в першому кластері знайдено за поняттям «відновлювальна енергія» (усього 28 зв'язків).

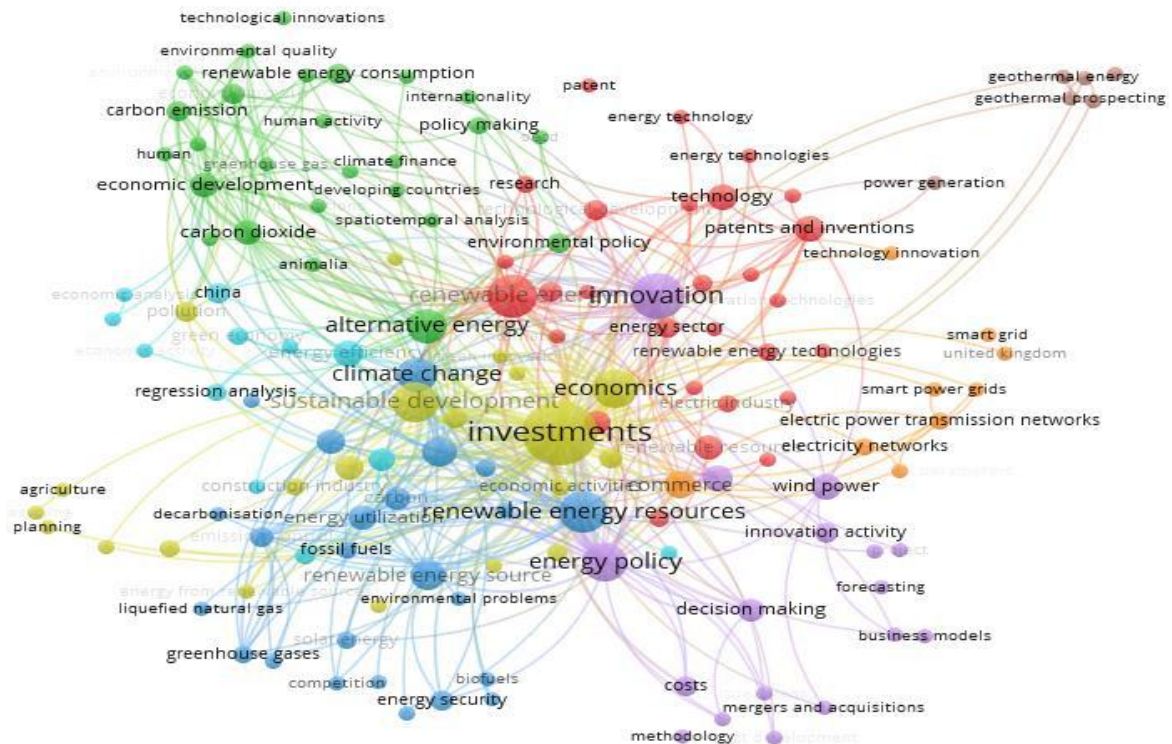


Рисунок 2.6 – Кластери досліджень за 2000-2022 рр. в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «innovative and investment activity» AND «renewable energy» (побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/> та програмного забезпечення VOSviewer (версія 1.6.16))

Зелений кластер (другий кластер) пов'язаний з вивченням якості навколишнього середовища, концепцій відновлювальних джерел енергії, інформаційних технологій, рівня викидів вуглецю, просторово-часового аналізу. Більше всього зав'язків в даному кластері знайдено за поняттям «альтернативна енергія». Серед усіх 26 зав'язків з поняттям «альтернативна енергія», більшу вагу мають зв'язки з шостим кластером, що містить ключові слова пов'язані з поновлювальними видами ресурсів, оптимізацією.

Третій кластер включає такі ключові елементи як енергетична безпека, зміна клімату, проблеми навколишнього середовища, утилізація енергії, природні ресурси, сонячна енергія, парникові гази, сталий розвиток.

Четвертий кластер (жовтий) має більше всього зв'язків за поняттям «інвестиції». В кластері зосереджені поняття з найпотужнішою силою зв'язку. До понятійної бази увійшли терміни: економічна активність, соціально-економічний ефект, фінансовий розвиток, зелені інновації, управління інноваціями, інноваційні проєкти.

В п'ятому (бузковому) кластері знайдено за поняттям «інновації». Кластер складають такі поняття: бізнес моделі, прийняття рішень, енергетична політика, прогнозування, проєкти відновлювальних джерел енергії, вітрова енергія.

Сьомий кластер (помаранчевий) містить таку поняттєву базу: комерція, параметри електричної мережі, перерозподіл енергоресурсів, smart-grid, технологічні інновації.

В останньому (восьмому кластері) визначені такі його елементи: геотермальна енергія, геотермальне поле, геотермальна розвідка, генерація енергії, ризик-менеджмент.

Необхідно зазначити, що в досліджуваних кластерах за фільтрами TITLE-ABS-KEY «innovative and investment activity» AND «renewable energy» були визначені країни, на досвід яких науковці звертають особливої уваги, а саме країни, що розвиваються, Китай, Велика Британія та ЄС.

У свою чергу аналіз публікацій за країнами в БД Scopus® дозволв виявити такі лідери країни та установи в тематиці, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY «innovative and investment activity» AND «renewable energy»: Італія, Польща, США, Франція, Токійський університет, Оранський університет науки и технологій, Національний фонд природничих наук Китаю, Рамкова програма «Горизонт 2020», Ольборзький університет.

Дані про країн лідерів в тематиці можуть бути основою для формування Case-методу, який надасть змогу вивчати найкращі практики, підходи та методи.

Громадський інтерес до інноваційно-інвестиційних факторів та енергетичного сектору можна виявити на базі використання програмного забезпечення Google trends, рис. 2.7.

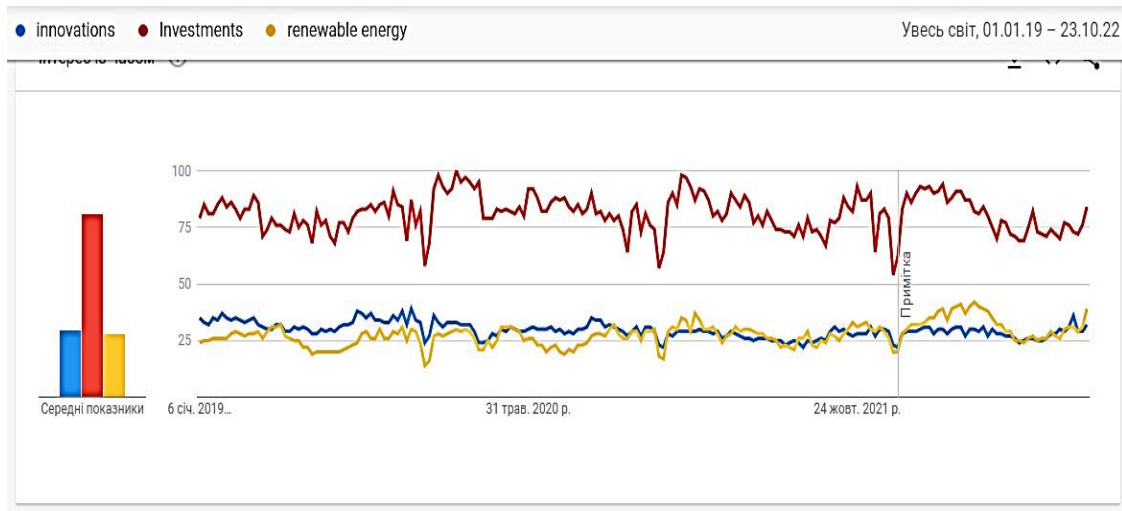
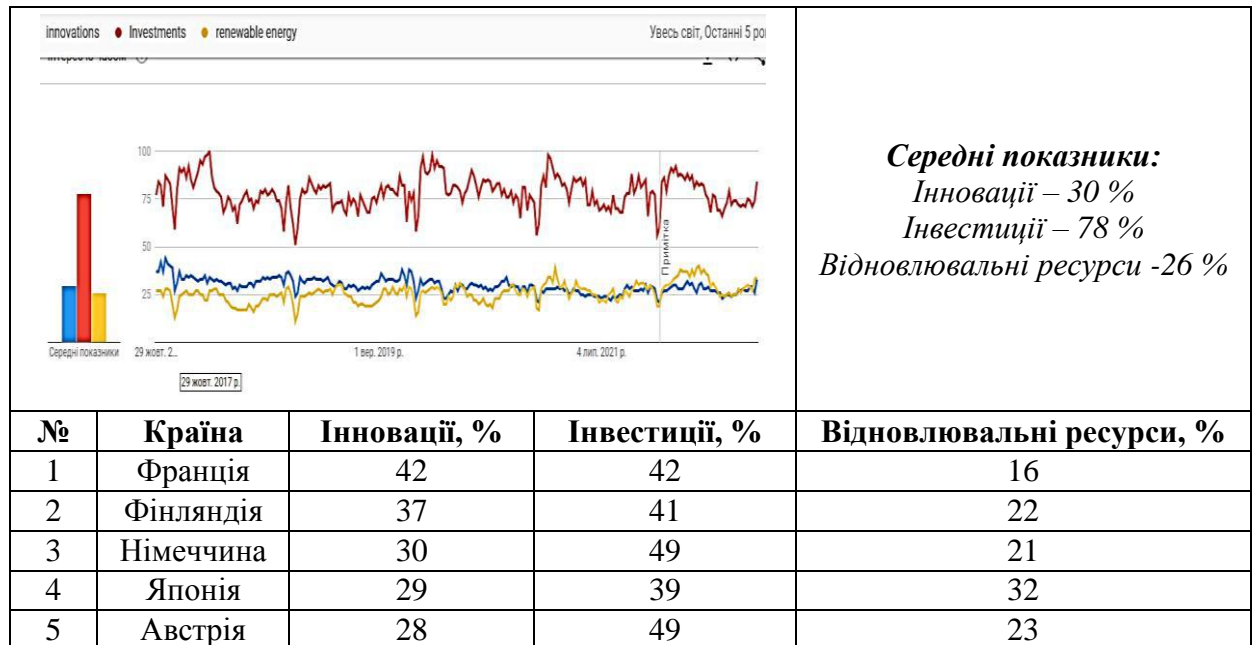


Рисунок 2.7 – Виявлення рівня громадського інтересу до інноваційно-інвестиційних факторів та енергетичного сектору на базі програмного забезпечення Google trends за 2019 – 2022 рр.

Рисунок 2.7 репрезентує рівень зацікавленості громадськості до інноваційно-інвестиційних факторів та енергетичного сектору. Найбільш популярною є тематика інвестування. Зокрема між досліджуваними факторами спостерігається певний взаємозв'язок у вигляді кореляції динаміки. Досліджуваний період складає 3 роки, адже саму з 2019 році методику системи збору даних було удосконалено. Також необхідно зазначити, що подібна кореляція спостерігається під час дослідження рівня зацікавленості громадськості до інноваційно-інвестиційних факторів та енергетичного сектору за 5 років, табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Динаміка рівня громадського інтересу до інноваційно-інвестиційних факторів та енергетичного сектору (розроблено авторами на основі використання програмного забезпечення Google trends)



Такі програмні засоби як, БД Scopus, VOSviewer (версія 1.6.16), Google trends покладено в основі алгоритму щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної.

Схема щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики репрезентовано на рис. 2.8.

Моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики пропонується здійснити за допомогою індексного методу та методу кореляційно-регресійного аналізу. Зокрема індексним методом доцільно визначати як статичні так і динамічні індекси інноваційно-інвестиційних параметрів у розвитку відновлювальної енергетики. Розрахунок статичного індексу інноваційно-інвестиційних параметрів у розвитку відновлювальної енергетики певної країни базується на порівнянні показників даної країни з показниками країни, що взята за еталон.

За еталонну приймається країна з найкращими показниками інноваційно-інвестиційних параметрів у розвитку відновлювальної енергетики.



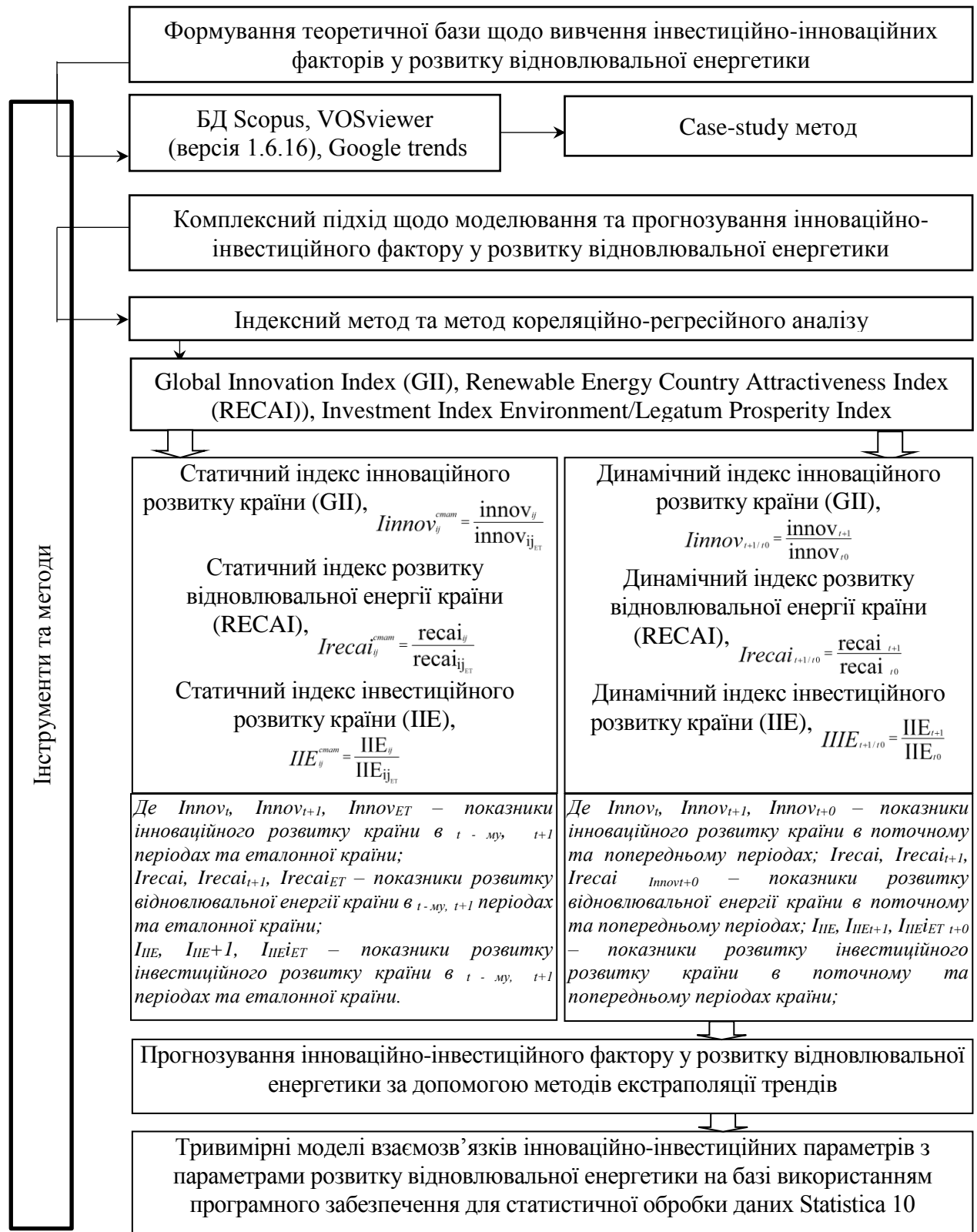


Рисунок 2.8 – Схема моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики (сформовано авторами)

Статичні індекси інноваційно-інвестиційних параметрів у розвитку відновлювальної енергетики можуть бути визначені на основі попередньої диференціації країн за групами, а саме за рівнем доходу. Це обґрунтовується тим, що більш коректно порівнювати показники країн, які істотно не відрізняються за соціально-економічними та енергетичними характеристиками. Статичні індекси інноваційно-інвестиційних параметрів у розвитку відновлювальної енергетики країн дозволяють сформулювати їх рейтинг, визначити рівень інноваційно-інвестиційного та енергетичного розвитку конкретної країни порівняно з країнами-еталонами, виявити диспропорційність розвитку. Згідно з комплексним підходом щодо моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики країни вважається за доцільне здійснювати оцінювання рівня розвитку окремо взятої країни в часі, порівнюючи індивідуальні показники розвитку країни у наступному та попередньому періодах (динамічний індекс).

Одними з найбільш відомих індексів, що відображає інноваційну діяльність є Глобальний Інноваційний Індекс (Global Innovation Index, GII). Глобальний Індекс охоплює дослідження 132 країн світу та ураховує рівень доходу в країнах.

До параметрів, що відображають розвиток відновлювальних джерел енергії можна віднести Індекс привабливості країни з відновлюваної енергетики (Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI)). За параметр інвестиційного розвитку країни можна обрати ІІЕ/ЛПІ – індекс інвестиційного середовища, складовий індексу процвітання (Investment Index Environment/Legatum Prosperity Index). Індекс розраховується для 167 територій. Під час використання індексу привабливості країни з відновлюваної енергетики необхідно обмеження у кількості країн, що досліджується. Згідно методики визначення індексу у дослідженні беруть участь лише 40 країн, які мали відповідний потенціал для інвестування у відновлювальну енергію. Крім обмежень за кількістю країн, також доцільно

ураховувати такий фактор, як удосконалення організаціями методики визначення індексів. Саме тому під час визначення динамічного індексу важливо ураховувати похибку.

Індексний метод дозволяє сформувати базу для прогнозування стану інноваційно-інвестиційного та енергетичного розвитку конкретної країни, яке можна здійснити за допомогою методів екстраполяції трендів. Урахування досвіду різних країн світу надасть можливість сформувати різні прогнози інноваційно-інвестиційного та енергетичного розвитку, а саме базового, оптимістичного та песимістичного прогнозів.

Для визначення взаємозв'язків між інноваційними, інвестиційними та енергетичними параметрами розвитку доцільно використовувати метод кореляційно-регресійного аналізу. Метод дозволяє виявити наявність взаємозв'язків між досліджуваними параметрами та спроектувати вектори інноваційного, інвестиційного та енергетичного розвитку.

Поверхні графіків репрезентованих на рис. 2.9 надають можливість визначити зони оптимального, задовільного та дисгармонійного (неоптимального) інноваційно-інвестиційного та енергетичного розвитку країни.

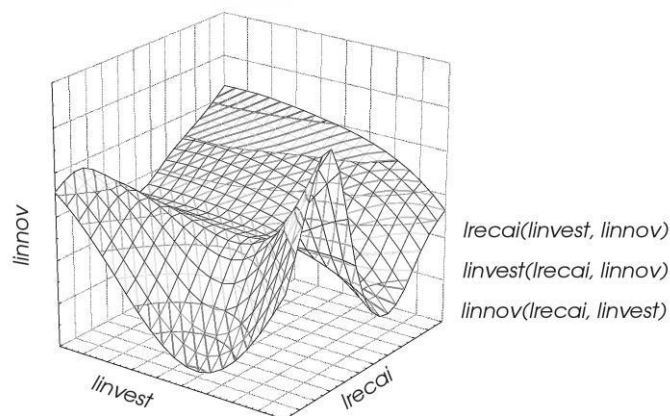


Рисунок 2.9 – Модель графіку, що містить вектори інноваційного, інвестиційного та енергетичного розвитку на базі використання програмного забезпечення для статистичної обробки даних (розрароблено авторами)

На рис. 2.9 розглядається три варіанти апроксимізуючих залежностей: 1) визначення залежності індексів привабливості країни з відновлюваної енергетики (*Irecai*) від індексів інвестиційного середовища (*Iinvest*) та інноваційних індексів (*Iinnov*); 2) визначення залежності індексів інвестиційного середовища (*Iinvest*) від індексів привабливості країни з відновлюваної енергетики (*Irecai*) та інноваційних індексів (*Iinnov*); 3) визначення залежності інноваційних індексів (*Iinnov*) від індексів привабливості країни з відновлюваної енергетики (*Irecai*) та індексів інвестиційного середовища (*Iinvest*).

Метод дозволяє виявити зони допустимих значень індексів, що досліджуються, та визначимо межі їх коригування в напрямку оптимального розвитку країни.

### **3 ЕНЕРГЕТИЧНА ПОЛІТИКА ТРАНСФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ**

Енергетична стратегія провідних країн світу передбачала поступовий перехід до відновлюваної енергетики для боротьби зі змінами клімату та забезпечення сталого розвитку. Під час цього процесу спостерігалось протиріччя, яке не було успішно подолане. З одного боку, масштабне застосування відновлюваної енергетики потребує значних інвестицій, які не кожна країна готова виділити або відшукати у короткостроковому періоді, з іншого боку, чим довше триває перехід до екологічно безпечної енергії, тим більшими є негативні наслідки кліматичних змін, боротьба з якими спричиняє значні витрати. Таким чином, енергетична політика країн по всьому світу враховувала економічний аспект та ставила його на пріоритетне місце під час модернізації або трансформації енергетичного сектору.

Однак підхід, який застосовується у часи економічної стабільності та контрольованого розвитку, може бути переглянутим унаслідок глобальних потрясінь. Протягом 2020-2022 років світ зазнав двох глобальних потрясінь, наслідки яких мають відобразитися на енергетиці. Першим потрясінням стала пандемія COVID-19 та заходи з протидії її поширенню, включаючи обмеження на пересування населення та заборону скупчення людей в одному місці. Протипандемійні заходи вплинули на економічну активність та за короткий період трансформували бізнес-моделі. Це позначилося на патернах енергоспоживання, як бізнесом, так і побутовими споживачами.

Другим глобальним потрясінням стала розв'язана росією війна проти України. Окрім руйнування логістичних ланцюжків, війна призвела до необхідності заміщення російських енергоресурсів у одній з найбільших економік світу – Європейському Союзі. Негативні очікування щодо дефіциту енергоресурсів, які були використані як інструмент політичного впливу керівництвом росії країн ЄС, призвели до зростання вартості енергії та супутнього зростання цін на практично усі групи товарів. Цей ефект був

надзвичайно відчутним, у тому числі, через політику протидії коронавірусу та підтримки бізнесу та населення країнами ЄС, яка призвела до значного зростання грошової маси в обігу. Близькість у часі двох глобальних потрясінь спричинила кумулятивний ефект, який позначився на перспективах енергетичного сектору. Однак вплив COVID-19 та російсько-української війни є не однаковим. У даному розділі досліджено глобальний вплив пандемії COVID-19 та російсько-української війни на енергетичний сектор, що дозволяє передбачити майбутній інноваційний розвиток енергетики та допоможе виявити патерни трансферу енергоінновацій для задоволення актуальних та перспективних потреб енергетичного сектору.

### **3.1 Розвиток нової енергетичної парадигми та вплив COVID-19 на довкілля та зміни клімату**

Світова коронавірусна криза суттєво вплинула на світову економіку, соціальну сферу та екологію. Провідні наукові видання публікують значну кількість статей, які містять результати досліджень щодо впливу пандемії. У цьому розділі досліджуються статті, де описані та вивчені зміни, яких зазнали економіка, енергетична система та довкілля в рамках сталого розвитку. Саме в такому поєднанні необхідно розглядати наслідки пандемії, щоб визначити перспективи розвитку енергетичного сектору за тим сценарієм, який наблизатиме тотальне впровадження принципів сталого розвитку в економічне та соціальне середовище. Дослідження впливу пандемії COVID-19 на клімат викликає значний науковий інтерес. Це пояснюється також тим, що ніколи науковці не мали змоги настільки глобально емпірично досліджувати зміни в економіці, соціальному секторі та довкіллі, як під час пандемії. Науковці не лише отримали шанс перевірити власні теорії щодо взаємозалежності (залежності) економічної активності і зростання та кліматичних параметрів і стану довкілля. Наукова спільнота отримала у своє розпорядження фактичні дані, які використовуються для економіко-математичного моделювання складних процесів в економіці та енергетиці.

Пандемії та зміна клімату розглядаються як серйозні проблеми, які значно шкодять економіці та соціальному сектору. Однак постає питання чи може одна проблема хоча б частково стати вирішенням іншої? Аналіз наукових публікацій свідчить про актуальність цього питання, адже багато дослідників це вивчають. Дослідження за даною тематикою мають різну спрямованість, тому доцільно їх класифікувати та виділити найбільш впливові з них. Зокрема, дослідження [37] піднімає питання щодо доцільності вирішення кліматичних проблем, використовуючи наслідки пандемії. Автори приходять до висновку, що хоча пандемія справляє позитивний вплив на стан клімат і сприяє досягненню цілей енергетичної політики, економічні та соціальні шоки, спричинені нею, є занадто високою ціною. Таким чином, можна стверджувати, що існують економічно ефективніші механізми боротьби зі зміною клімату, передбачені міжнародною кліматичною політикою, саме вони мають застосовуватися. У роботах [38-40] також системно вивчено цю проблему, шляхом дослідження взаємозв'язків між наслідками карантинних заходів та забрудненням атмосферного повітря, станом здоров'ям населення та економічним зростанням.

Деякі вчені фокусуються винятково на впливі пандемії COVID-19 на довкілля. У статті (Rybak and Rybak, 2021) визначається та аналізується вплив соціальної ізоляції для протидії COVID-19 на викиди найбільш небезпечних газів-забрудників [41]. Однак різні підходи до протидії поширенню коронавірусу та різна жорсткість та часові рамки обмежень спричиняють відмінності у показниках якості довкілля під час пандемії. Це ускладнює процес систематизації отриманих показників та узагальнення емпіричних даних. У результаті статистичної обробки даних неможливо визначити загальноєвропейську тенденцію до зниження концентрації шкідливих газів в атмосфері. Тобто результати впливу пандемії коронавірусу на стан довкілля в різних країнах відрізняються. Глобальні та міжрегіональні дослідження натрапляють на труднощі щодо отримання однорідних результатів. Аналізуючи наявні дослідження, можна зазначити, що у них враховується

можливий часовий розрив між соціальною ізоляцією та скороченням викидів та передбачаються різні сценарії скорочення викидів парникових газів. Найбільш оптимістичний сценарій містить висновки, що зниження викидів CO, NO<sub>2</sub> і PM<sub>2,5</sub> може максимально сягнути показника у 51%, 95% і 28% відповідно. У дослідженнях впливу коронавірусу на довкілля важливо враховувати структурні аспекти, зокрема (Barua and Nath, 2021) та (Kumar et al., 2020) використовують фактичні дані та пропонують результати структурного аналізу скорочень викидів та відстежують зміни в обсягах та концентрації забрудників в атмосферному повітрі протягом періоду зниження соціальної мобільності [42-43].

Автори досліджень (Ali et al., 2021; Lalas et al., 2021; Latif et al., 2021; Othman and Latif, 2021; Wang et al., 2021) на прикладі Греції, Пакистану, Малайзії та Китаю (відповідно) проаналізувати обсяги емісії парникових газів та їх вплив на клімат протягом пандемії. Низка дослідників цілком аргументовано здійснюють поправку у своїх дослідженнях, враховуючи різницю в емпіричних даних та отриманих показниках у періоди карантину та послаблення карантинних обмежень [44-48]. Ці дослідження зосереджені на конкретній країні чи регіоні, тому їхні результати більш однорідні. Пояснює це той факт, що обмеження в межах однієї країни є відносно однаковими для всієї країни. У роботі (Lalas et al., 2021) також враховується наявність тривалого впливу пандемії на якість повітря та кліматичні параметри як важлива умова отримання релевантних результатів [49]. Дослідження робить висновок, що не варто очікувати позитивного довгострокового впливу пандемії на зміну клімату. Після періодів жорстких карантинних обмежень суспільство повертається до звичної моделі поведінки та економічної активності і таким чином нівелює короткострокові позитивні результати, які було отримано внаслідок впливу COVID-19. До таких висновків схиляються також інші дослідники. Зокрема, дослідження (Das et al., 2021) підтверджує цей висновок [50]. Однак дані свідчать, що під час карантинних обмежень скорочення шкідливих викидів суттєве.



Однак існують дослідження, у яких автори не погоджуються з позитивною оцінкою корисності карантинних обмежень для довкілля. Наприклад, (López-Feldman et al., 2020) стверджують, що в Латинській Америці під час карантину спостерігається збільшення навантаження на ліси та інші екосистеми, в той час як спостерігається позитивна тенденція до зменшення забруднення міст [51]. Тому на такі дослідження варто звернути більшу увагу. Згідно з дослідженням Hilares et al. (2020), зміни у виробництві електроенергії в Перу зменшили викиди парникових газів на 60% порівняно зі звичайним сценарієм [52]. Враховуючи це дослідження та результати, здобуті (Logan et al., 2020) та (Ope Olabiwonnu et al., 2021), доцільно більш детально оцінити вплив виробництва енергії на кліматичні умови, у тому числі враховувати аспекти, пов'язані із виробництвом відновлюваної енергії [53-54]. У роботі (Wang et al., 2020) враховано цей аспект під час дослідження зменшення обсягів викидів шкідливих речовин у повітря за рахунок зменшення використання викопного палива для виробництва енергії в Китаї [55].

На відміну від перерахованих вище досліджень, дослідники (Bolaño-Ortiz et al., 2020) також розглядають кліматичні наслідки пандемії COVID-19 у контексті енергетичної асиметрії [56]. Подібна проблема в іншому географічному регіоні, в Східній Індії, є предметом дослідження (Pal et al., 2021) і Делі (Goel, 2020). Дослідники запропонували результати на основі широкого кола індикаторів [57, 58].

Дослідження (Ghosh et al., 2020) зосереджено на важливому аспекті забруднення навколишнього середовища під час пандемії COVID-19, а саме на змінах параметрів якості повітря в мегаполісах [59]. Дане дослідження має суспільне значення. Варто також зазначити, що важливими є дослідження, де автори зосереджуються не лише на викидах шкідливих газів, а й на змінах кліматичних умов регіону внаслідок зміни традиційної моделі господарської діяльності.

На відміну від більшості досліджень, які оптимістичні щодо впливу коронавірусу на довкілля, у роботі (Brimblecombe and Lai, 2021) стверджується, що слід бути обережним при оцінці впливу COVID-19 на навколишнє середовище, оскільки необхідно враховувати багато інших факторів, які можуть суттєво вплинути на склад повітря [60]. Тобто вивчення впливу COVID-19 на якість повітря є важливим для розуміння того, як змінилися показники забруднення для різних забруднювачів, тобто для моніторингу динаміки концентрації шкідливих речовин (Sathe et al., 2021) [61]. Отримані значні результати щодо покращення стану повітря та конкретних кліматичних параметрів можна пояснити місцем проведення дослідження. Більш значний вплив пандемії та її обмеження на навколишнє середовище характерні для досліджень на основі даних, отриманих у промислових зонах, де рівень забруднення стабільно високий. Оскільки найбільш значними забруднювачами повітря є підприємства, промисловість викидає в атмосферу багато шкідливих речовин і перенасичує ними повітря. Автори (He et al., 2021) досліджують стан промислових підприємств та зміни викидів шкідливих газів і речовин в атмосферу [62]. Це дослідження узгоджується з результатами багатьох інших наукових публікацій і демонструє позитивний вплив COVID-19 на якість повітря. Цінність дослідження полягає в тому, що досліджувані об'єкти розташовані на великій території КНР, тобто географічний район дослідження є величезним.

Питання промисловості, її стану та розвитку також пов'язані з ґрунтовними дослідженнями, спрямованими на розробку технологій, які будуть корисними для зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище як під час пандемії, так і після її закінчення.

Отримані результати щодо впливу коронавірусу на довкілля та змін у господарській діяльності у статті (J. Zhang et al., 2021) пропонується використовувати для подальшого проектування та будівництва виробничої інфраструктури [63].

Значна кількість досліджень подібної тематики спричиняє виникнення нових підходів до вивчення проблеми, відповідно, методологія досліджень істотно відрізняється. Зокрема, у статті (Saravanan et al., 2020) автори досліджують локальні зміни якості повітря та визначають вплив COVID-19 на опади та стан озонового шару [64]. Натомість автори дослідження (Bai et al., 2020) аналізують вплив обмежень на контроль за коронавірусом на навколишнє середовище в хронологічному порядку: до, під час і після обмежень щодо коронавірусу [65]. У дослідженні (Oncioiu et al., 2021) автори використовують макроекономічну модель для оцінки впливу економічних шоків попиту та пропозиції, спричинених кризою COVID-19, на кліматичну сферу держав-членів Європейського Союзу [66]. Водночас у статті (Wang and Li, 2021) представлені результати на основі нелінійної моделі [67]. Такий підхід істотно відрізняється від інших. Оскільки значна кількість досліджень зосереджена на впливі COVID-19 на обмежену (невелику) територію, особливий інтерес становлять дослідження, які проводять глобальну оцінку, наприклад (Hoang et al., 2021a; Polyakov 2021) або порівнюють ці ефекти в різних таких регіонах, як (Yusup et al., 2020) і (Balasubramaniam et al., 2020) [69-70].

Дослідження впливу пандемії коронавірусу на довкілля та зміни клімату проводяться в різних умовах. Географія досліджень різноманітна, а вихідні умови, такі як рівень забруднення повітря, наявні та використані енергетичні ресурси, характеристики енергетичної системи та споживання енергії, різні. Це пояснює різницю в окремих висновках, до яких дійшли вчені. Однак прослідковується загальний висновок: позитивний вплив пандемії коронавірусу є тимчасовим, він триває до тих пір, поки діють коронавірусні обмеження, після відновлення звичайної господарської діяльності викиди шкідливих речовин і парникових газів повертаються до типових значень. Такі результати дозволяють зробити висновок, що скорочення економічної активності та штучні обмеження не є ефективним способом боротьби зі зміною клімату та захисту природного середовища. Відповідно, представники

влади, бізнесу, науковці та зацікавлені сторони мають продовжувати шукати економічні стимули для відповідального ведення бізнесу з використанням екологічно чистих технологій замість обмежувальних заходів, які негативно впливають на економічну діяльність.

Важливо відзначити, що окрім дослідження впливу коронавірусу на довкілля та клімат, було встановлено, що мікромережі та енергомережі, які використовують розподілену енергогенерацію та відновлювану енергію, є більш ефективними в задоволенні нестабільного попиту та швидше адаптуються до зміни патернів енергоспоживання. Поєднуючи ці результати та тимчасовість ефекту від пандемію коронавірусу, можна зробити обґрунтоване припущення щодо необхідності розвитку саме таких адаптивних енергомереж. Відповідно, зростатиме попит на інноваційні енерготехнології відновлюваної енергетики та розумних енергомереж.

### **3.2 Сучасний стан та тенденції розвитку енергетичного ринку**

Енергетичний сектор України та країн Європейського союзу зазнає суттєвих змін, які спричинені, у першу чергу, широкомасштабним вторгненням росії в Україну та його наслідками. Однак Україна та ЄС мають відмінні задачі в енергетиці. Україна докладає зусиль щодо збереження власної енергетичної інфраструктури, яка зазнає руйнування внаслідок збройних атак російської федерації. Очевидними пріоритетами для України буде забезпечення енергетичної безпеки та формування у майбутньому гнучкої енергосистеми з високою здатністю до балансування енергії. Відповідно для України необхідним кроком є формування патернів трансферу енергоінновацій, які придатні для створення мікромереж з розподіленою енергогенерацією, застосуванням розумних технологій та освоєнням регіонального та місцевого потенціалу відновлюваної енергії.

ЄС, попри стратегічну зацікавленість у подібному підході, у короткостроковій та середньостроковій перспективі вирішує інше завдання, а

саме: усунення залежності від російських енергоресурсів, які використовуються як інструмент впливу на країни ЄС.

З огляду на складність завдань, які мають бути вирішені для досягнення енергетичної незалежності, необхідно оцінити потенційні зміни енергетичної політики та різні сценарії подолання енергозалежності.

Це можна простежити, аналізуючи наукові публікації, де розглядалися проблеми енергетичної політики та можливі сценарії розвитку енергетичного сектору. З метою вивчення наукової думки щодо досліджуваного питання було здійснено бібліометричний аналіз публікацій бази даних Scopus.

До вибірки увійшло 1316 статей, які містять у назві, анотації або переліку ключових слів “gas”, “renewable energy”, “energy policy”, “energy security”, “climate”, та написані англійською мовою. Дана вибірка дозволяє відібрати саме ті статті, які розглядають питання енергетичної політики у контексті поєднання відновлюваних та невідновлюваних джерел енергії, зважаючи на безпековий та кліматичний аспекти.

Галузевий розріз спрямованості наукових публікацій з досліджуваної вибірки показано на рис. 3.1.

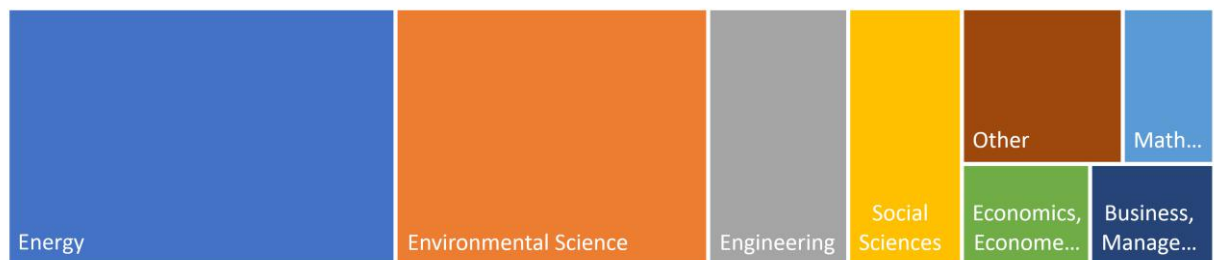


Рисунок 3.1 – Галузева спрямованість наукових публікацій щодо вивчення відновлюваної та невідновлюваної енергії у контексті енергетичної безпеки та кліматичних цілей

Розподіл публікацій за науковими напрямками свідчить, що переважна більшість з них належить до напрямку Energy (32%), and Environmental Science (26%). До напрямку Engineering належать 12% публікацій, Social Science - 9%.

Частка публікацій за іншими науковими напрямками є незначною, зокрема, Mathematics – 5%, Economics, Econometrics and Finance – 4%, Business, Management and Accounting – 4%, other subject areas – 8%.

Такий розподіл публікацій за subject areas свідчить, що дане питання вивчалось комплексно з різних позицій. Це логічно, адже період, протягом якого існує науковий інтерес до балансування між невідновлюваною та відновлюваною енергетикою, є тривалим, а відповідно умови розвитку відновлюваної енергетики змінювалися.

Перелік авторів, які у своїх дослідженнях найбільшу увагу звертали на використання відновлюваної енергії та природного газу в енергетичному секторі показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Науковці з найбільшою кількістю публікацій щодо використання викопного палива та відновлюваної енергетики та їхнього впливу на досягнення цілей кліматичної політики

Author	Total publications	h-index	Affiliation
Sovacool, B.K.	16	80	Aarhus Universitet, Aarhus, Denmark
Breyer, C.	13	51	LUT University, Lappeenranta, Finland
Bogdanov, D.	9	33	LUT University, Lappeenranta, Finland
Aghahosseini, A.	8	21	LUT University, Lappeenranta, Finland
Limmeechokchai, B.	8	19	Thammasat University, Pathum Thani, Thailand
Shrestha, R.M.	7	25	Asian Institute of Technology Thailand, Bangkok, Thailand
Brook, B.W.	6	61	University of Tasmania, Hobart, Australia
Fujimori, S.	6	53	National Institute for Environmental Studies of Japan, Tsukuba, Japan
Hong, S.	6	9	University of Tasmania, Hobart, Australia
Huang, G.H.	6	82	University of Regina, Regina, Canada
Lin, B.	6	77	Xiamen University, Xiamen, China
Ram, M.	6	9	LUT University, Lappeenranta, Finland
Schaeffer, R.	6	41	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
Streimikiene, D.	6	45	Lithuanian Energy Institute, Kaunas, Lithuania

Однак дослідники, вивчаючи одну проблему, підходять до неї по-різному. Для багатьох вчених, згаданих у таблиці 1, поєднане застосування

відновлюваної та невідновлюваної енергії, є частиною специфічних досліджень, які вони здійснюють. Тематика цих досліджень суттєво варіюється від вивчення впливу енергетики на клімат та заходів мінімізації збитків до дослідження конкретних технологій виробництва енергії з відновлюваних джерел.

Однак варто зауважити, що автори з найбільшою кількістю публікацій за проблемою, яка досліджується у даній статті, представляють університети північних країн. Цей факт вчергове підкреслює, що питання енергонезалежності та доступної енергії лишається надзвичайно актуальним та неповністю вирішеним, особливо для країн, які потребують енергію у великій кількості.

Кількісний показник статей опублікованих за тематикою, яка вивчається в даній статті, свідчить, що найбільший інтерес дана тема викликає у вчених з країн, які давно та системно займаються розбудовою відновлюваної енергетики (таблиця 3.2). Зокрема, найбільшу кількість публікацій мають представники США (224 наукові статті), United Kingdom (173) та China (168).

Таблиця 3.2 – Розподіл публікацій щодо використання викопного палива та відновлюваної енергетики та їхнього впливу на досягнення цілей кліматичної політики за країнами

Ranking	Countries	Publications, n	% of 2021	H-index	Average citations per document
1	2	3	4	5	6
1	United States	224	11,08%	42	31,14
2	United Kingdom	173	8,56%	39	29,38
3	China	168	8,31%	37	23,71
4	Australia	83	4,11%	25	22,87
5	Germany	82	4,06%	26	23,48
6	Canada	63	3,12%	23	29,16
7	India	58	2,87%	17	19,07
8	Netherlands	53	2,62%	24	31,30
9	Spain	51	2,52%	23	29,49
10	Japan	48	2,38%	20	22,63

## Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
11	Poland	47	2,33%	11	11,02
12	Italy	45	2,23%	18	33,64
13	Iran	43	2,13%	14	15,93
14	Pakistan	43	2,13%	17	35,33
15	Brazil	39	1,93%	15	29,64
16	Sweden	39	1,93%	19	38,05
17	Turkey	38	1,88%	16	32,39
18	Austria	36	1,78%	16	34,36
19	Denmark	35	1,73%	17	33,06
20	Malaysia	35	1,73%	15	24,71

Згідно з результатами, отриманими із застосуванням інструментарію VOSviewer до тематичної вибірки публікацій, існують наукові мережі співпраці (рис. 3.2) з дослідження питання, яке вивчається у даній статті. Підґрунтям для виявлення наукових мереж є наявність спільних наукових публікацій.

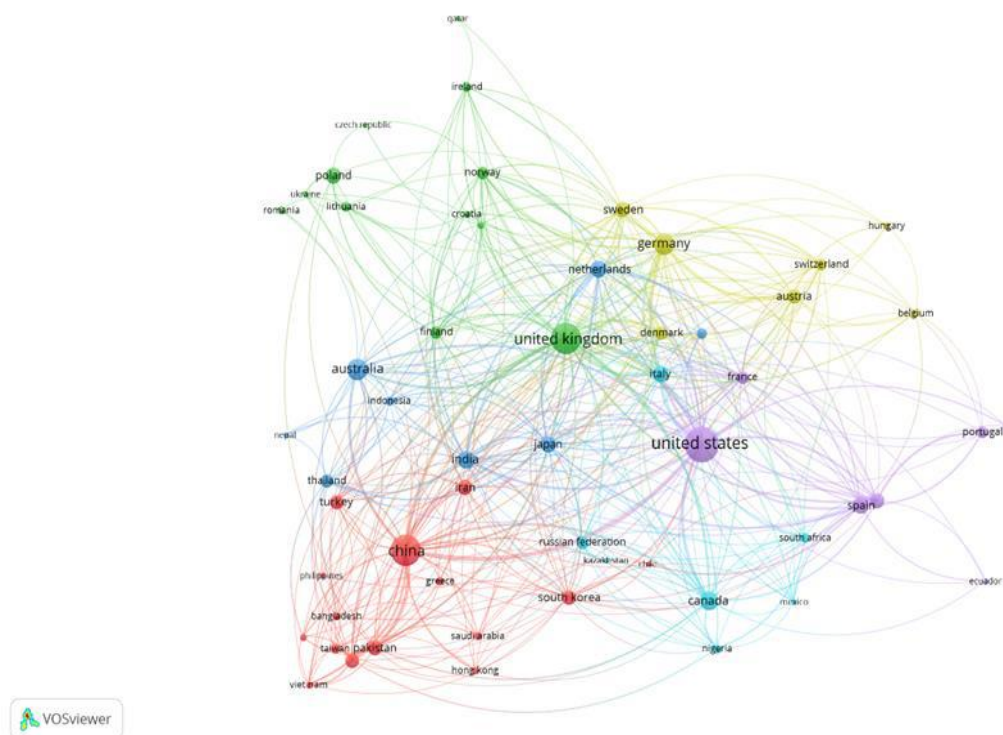


Рисунок 3.2 – Міжнародні наукові дослідницькі мережі



Проблема поєднання енергетичних ресурсів з відновлюваних та невідновлюваних джерел у контексті кліматичних змін є комплексною та розглядається науковцями з різних позицій, які доповнюють одна одну. Загалом за допомогою бібліометричного аналізу із застосуванням інструментарію VOSviewer вдалося виділити вісім кластерів досліджень (рисунок 3.3).

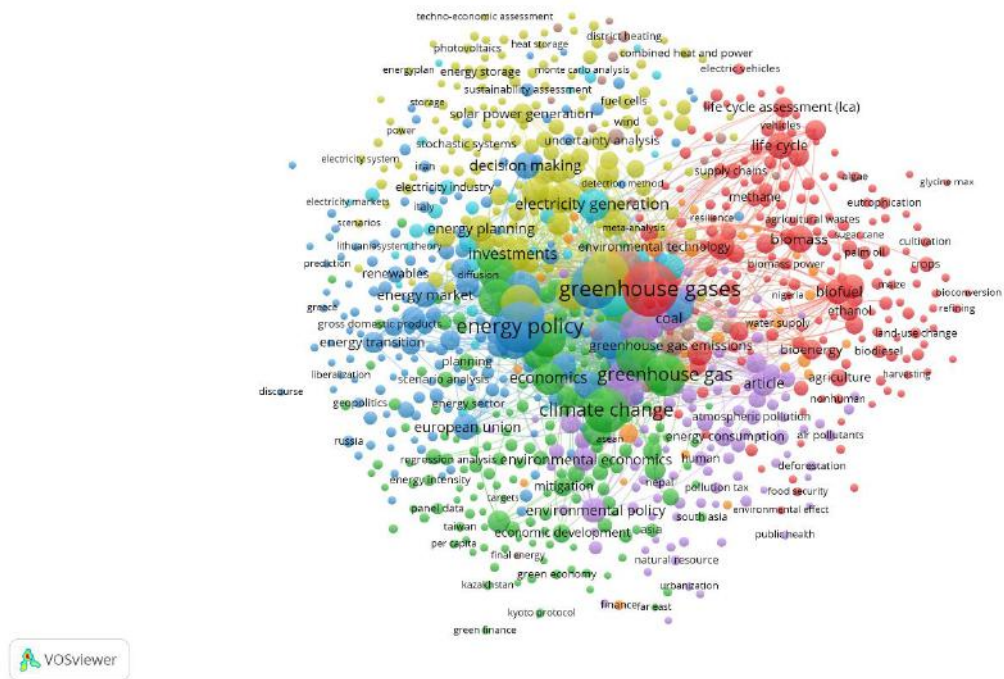


Рисунок 3.3 – Кластеризація досліджень використання відновлюваної та невідновлюваної енергії у контексті енергетичної безпеки та кліматичних цілей

Перший (червоний) кластер містить публікації, об'єднані тематикою відновлюваних видів енергії та їхнім впливом на стан довкілля, зокрема, через емісію парникових газів. При цьому значна кількість досліджень у даному кластері стосується технологій виробництва біопалива як альтернативи енергії з невідновлюваних джерел. При цьому розглядаються питання раціонального використання земельних ресурсів, які вилучаються із сільськогосподарського

використання для виробництва сировини для енергетичного сектору. Багато дослідників, публікації яких належать до даного кластеру, у своїх роботах звертають увагу, що з метою мінімізації шкоди довкіллю під час виробництва біопалива необхідно застосовувати оптимізаційні підходи до побудови логістичних ланцюгів. Це підвищує ефективність заміщення нафти, природного газу та інших видів викопного палива відновлюваним.

Другий (жовтий) кластер сфокусований на дослідженні економічної ефективності виробництва та застосування відновлюваної енергетики та природного газу для забезпечення потреб споживачів в енергії. Значна кількість публікацій даного кластеру вивчає науково-методичні підходи до оцінювання ефективності використання різних видів палива. Дослідження у цьому напрямку дозволяють розробити ефективні алгоритми поширення найбільш ефективних технологій з економічної та екологічної точок зору, що створює підґрунтя для масштабування успішних енергетичних проектів.

Третій (зелений) кластер зібрав публікації, які вивчають вплив енергетики та процесів переходу від невідновлюваної енергетики до відновлюваної на економічне зростання. Також у статтях даного кластеру вивчається ефективність застосування фінансових інструментів стимулювання відновлюваної енергетики та енергоощадних заходів. Статті даного кластеру є важливими для розроблення енергетичної політики, планування та формування сценаріїв переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

Статті четвертого (синього) кластеру вивчають питання розвитку енергетичного ринку та взаємодії гравців на цьому ринку. До кола питань, які вивчаються, входять міжнародні відносини щодо формування та реалізації енергетичної політики, експортно-імпортних операцій, зокрема, щодо газопостачання. Геополітичні інтереси окремих країн та ЄС є предметом дослідження значної кількості публікацій. Значна увага приділяється розробленню наукових підходів розвитку енергетичного ринку на основі справедливого розподілу та раціонального використання енергетичних

ресурсів, а також спільної діяльності країн задля реформування енергетичного сектору з урахуванням принципів сталого розвитку. Тематика окремих статей є дотичною до предмету вивчення статей попереднього (зеленого) кластеру.

Статті п'ятого (фіолетового) кластеру досліджують витання якості атмосферного повітря, зокрема, обсягів емісії шкідливих газів та речовин у повітря. У статтях досліджується широке коло питань. Окрім емісії газів та викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, вивчаються питання збереження природної рівноваги. Збереження можливостей природи компенсувати наслідки людської діяльності, зокрема, шляхом збереження лісів та зелених насаджень, здатних поглинати шкідливі викиди, утворені внаслідок людської діяльності. Відповідно, окремі статті цього кластеру вивчають екологічну політику, спрямовану на збереження довкілля.

Шостий (блакитний) кластер містить публікації щодо розвитку електроенергетики та розумних енергомереж. Електроенергія, вироблена з екологічно чистих джерел, розглядається як альтернатива використанню викопного палива. Електроенергія покриває більшість потреб людства в енергії. Тому розвиток потенціалу електроенергетики є надзвичайно важливою задачею для всіх зацікавлених осіб. Окрім, збільшення обсягів виробництва чистої електроенергії, важливе значення має її раціональне використання. Розумні енергомережі, які поєднують енергетичні та інформаційно-комунікаційні технології чудово справляються з цією задачею. Також розумні енергомережі залучають користувачів до більш активної участі у процесах, які відбуваються в енергомережі, та раціонального енергоспоживання. Розвиток ринку електроенергії, розподілена енергогенерація та інноваційні технології вивчаються дослідниками у рамках даного кластеру.

Публікації сьомого (оранжевого) кластеру досліджують інноваційні технології для енергетичного сектору, які сприяють скороченню викидів парникових газів та підвищенню ефективності виробництва, розподілу та передачі енергії. Значна увага приділяється технологіям управління цими

процесами. Статті даного кластеру допомагають у пошуку та апробації енергоефективних технологій, які підвищують прибутковість проектів в енергетичному секторі.

Публікації восьмого (коричневого) кластеру сфокусовані на висвітленні результатів симуляції застосування інноваційного обладнання та технологічних удосконалень енергетичних процесів. Значна роль у дослідженнях даного кластеру відводиться на демонстрацію результатів з розроблення програмного забезпечення для оптимізації операцій та підвищення ефективності діяльності учасників енергетичного ринку.

### **3.3 Інвестиційна складова інноваційного розвитку енергетичного сектору**

З огляду наукових досліджень можна зробити висновок, що основна увага дослідників зосереджена на пошуку ефективних шляхів заміщення невідновлюваних джерел енергії відновлюваними та підвищення ефективності енергоспоживання. Це узгоджується у принципах енергетичної політики ЄС та планами щодо протидії змінам клімату.

Однак сьогодні змінює умови функціонування енергетичного сектору та економіки, яка тісно з ним пов'язана. Статистичні дані дозволяють оцінити стан енергетичного сектору та визначити домінуючі протягом останнього часу тенденції (рис. 3.4).

Відповідно до енергетичної та кліматичної політики ЄС, відновлювана енергетика має стати основою майбутньої енергетичної системи, покращивши екологічну ситуацію, яка є загрозливою після довгих десятиліть ігнорування екологічного витання на користь швидкого економічного зростання.

Інвестиції у відновлювану енергетику в останні 15 років не можна охарактеризувати, застосовуючи тенденцію до зростання. Постійне зростання інвестицій спостерігалось в період з 2004 по 2011 роки з невеликим скороченням у 2009 році, що, очевидно, пов'язано з наслідками складної макроекономічної ситуації, спричиненої глобальною економічною кризою

2008 року. При цьому зростання обсягів інвестицій у середньому складало 29,5%. Однак після 2011 року спостерігається зниження вкладень у відновлювану енергетику. Це є результатом двох явищ. Обидва явища мають технологічну природу.

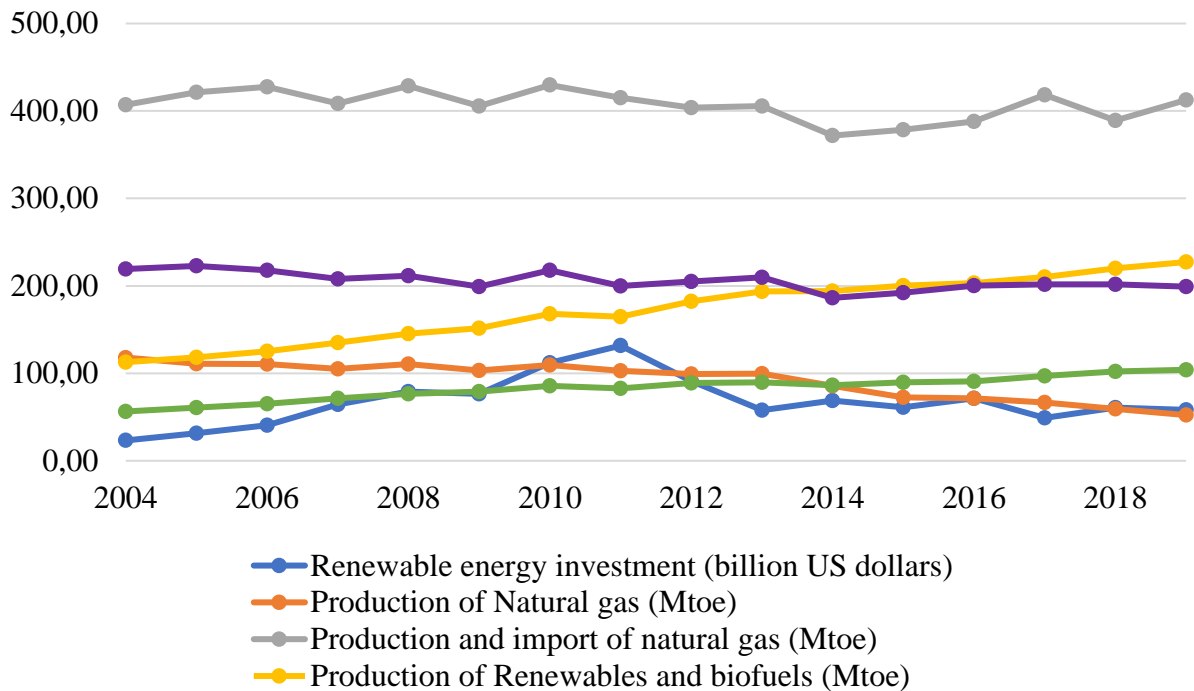


Рисунок 3.4 – Показники функціонування енергетичного сектору ЄС

По-перше, наявні технології виробництва, транспортування та розподілу енергії з відновлюваних джерел внаслідок удосконалення технологій та оптимізації процесів стали більш вигідними економічно. Виробництво одиниці енергії внаслідок цього мало стало дешевшим. Це настільки позитивний факт, що інвестори мали б відреагувати на нього вливанням додаткових коштів у галузь відновлюваної енергетики. Однак дані офіційної статистики говорять, що цього не сталося. Це пов'язано з другим, згаданим явищем. Потенціал наявної технології виробництва відновлюваної енергії був використаний. Наявні технології та стан енергоринку виявилися неготовими до масового та повсюдного застосування відновлюваної енергетики. Необхідними умовами подальшого розвитку були технологічний прорив у

відновлюваній енергетиці та залучення все більшої кількості кінцевих користувачів до участі в процесах на енергетичному ринку. Якщо проблема технологічного прориву вирішується складно, то задача реформування енергоринку для його готовності споживати все більшу кількість енергії з відновлюваних джерел вирішувалася успішно із застосуванням інструментів та механізмів, передбачених європейською енергетичною політикою. Наслідком таких дій стало збереження темпів виробництва енергії з відновлюваних джерел та одночасно зниження обсягів інвестицій у галузь до раціонального рівня.

Результати розрахунків кореляції між інвестиціями у відновлювану енергетику та енергогенерацією з відновлюваних джерел (рис. 3.5) підтверджують аргументацію, наведену вище.

<b>Correlations</b>			
		Renewable_energ y_investment	Productio_Renewa bles
Renewable_energy_investment	Pearson Correlation	1	,210
	Sig. (2-tailed)		,435
	N	16	16
Production_Renewables	Pearson Correlation	,210	1
	Sig. (2-tailed)	,435	
	N	16	16

Рисунок 3.5 – Кореляція між інвестиціями у відновлювану енергетику та енергогенерацією з відновлюваних джерел

Розрахунок коефіцієнта парної кореляції Пірсона показує наявність слабого взаємозв'язку між інвестиціями у відновлювальну енергетику та обсягами виробництва відновлюваної енергії та підтверджує, що інвестиції у відновлювану енергетику не спричиняють стрімкого зростання виробництва енергії з відновлюваних джерел тому, що можливості збільшення енергогенерації з відновлюваних джерел та масштабування успішних проектів

мають суттєві обмеження, зокрема, технологічні, які не можна подолати в короткий строк, збільшивши інвестиції.

Саме тому виділення значних обсягів фінансування у відновлювану енергетику не може вирішити енергетичну проблему в Європі у короткостроковій перспективі. Відповідно ЄС планує виділити 300 млрд євро те, щоб позбутися енергетичної залежності від Росії. Враховуючи названі обмеження, ці інвестиції будуть зроблені до 2030 року [71]. Майже всі кошти підуть на розвиток чистої енергетики, окрім 12 мільярдів євро, необхідних для модернізації та розширення газотранспортної та нафтопереробної інфраструктури в короткостроковому періоді для вжиття негайних заходів щодо зміни маршрутів доставки газу, нафти та нафтопродуктів. Поряд з інвестиційними планами варто очікувати подальших кроків щодо стимулювання виробництва та споживання відновлюваної енергії.

Поряд зі стратегією розвитку відновлюваної енергетики ЄС планово скорочував виробництво природного газу. Видобуток природного газу в Європі у період з 2004 по 2019 роки скоротився у понад двічі, з 118 до 52,3 Mtoe. У той же час імпорт природного газу за цей же період зріс на 24,:%, перевищивши 360 Mtoe.

Обсяги власного видобутку газу в ЄС корелюють із поточними потребами (рис. 3.6). Можна припустити, що збільшення видобутку природного газу розглядалося в ЄС як засіб швидкого реагування на коливання попиту, коли немає потреби збільшувати обсяг імпорту для його задоволення.

Відповідно до дій урядів країн ЄС та керівних органів ЄС, які вживалися протягом 2022 року, можна визначити перспективи енергетичного ринку та напрямки інвестування в енергетику. Прогнозується реалізація двоетапного плану дій, де першим кроком є заміщення енергопродуктів російського походження аналогічними від інших постачальників, а другим етапом є інтенсифікація розвитку відновлюваної енергетики. Однак виконання кожного етапу потребує інвестування у інфраструктуру постачання нафти та газу. Це

спричинено зміною шляхів постачання значної кількості енергоресурсів від трубопровідного способу до постачання танкерами. Зокрема, зростає потреба у терміналах, які можуть опрацювати значно більші обсяги поставок.

		Consumption_natural_gas	Production_natural_gas
Consumption_natural_gas	Pearson Correlation	1	,659**
	Sig. (2-tailed)		,005
	N	16	16
Production_natural_gas	Pearson Correlation	,659**	1
	Sig. (2-tailed)	,005	
	N	16	16

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Рисунок 3.6 – Кореляція між видобутком та споживанням природного газу в ЄС

На другому етапі необхідно забезпечити поширення інноваційних технологій енергогенерації та енергозберігання, що підвищить здатність енергомереж із застосуванням відновлюваної енергії реагувати на зміни попиту. Вирішення цієї задачі дозволить масштабувати успішні проекти мікромереж та створювати розумні енергомережі для досягнення високого ступеня їх відповідності потребам споживачів з урахуванням патернів енергоспоживання.



## ВИСНОВКИ

Енергетичний сектор є ядром сучасної економіки. Зростаюча потреба в енергії є стимулом для його розвитку. Однак екологічна ситуація та катастрофічні зміни клімату накладають обмеження на технології, які можуть бути застосовані в енергетиці.

Кліматична та енергетична політика передбачають систему заходів в енергетичному секторі, спрямованих на зниження викидів парникових газів в атмосферу шляхом змін у паливно-енергетичному балансі зі зміщенням у сторону відновлюваної енергетики. Досягнення планових показників вимагає системних дій від урядів, компаній та споживачів енергії (як комерційних, так і побутових), а також значних інвестиційних ресурсів, спрямованих на перебудову енергетичного господарства.

Низка факторів впливає на здатність окремих країн та регіонів успішно здійснювати перехід на відновлювані джерела енергії у потрібних для досягнення цілей кліматичної політики масштабах. Є низка обмежень, які стримують даний процес, а також фактори, які мають бути враховані під час трансформації енергосектору.

У даному етапі дослідженні визначені обмеження, подолання яких є необхідним для прискорення темпів розвитку відновлюваної енергетики, досягнення цілей кліматичної політики та переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

На основі опублікованих результатів наукових досліджень у виданнях наукометричної бази даних Scopus визначено наявні підходи до забезпечення енергетичної безпеки країн та їхніх об'єднань. У сучасних умовах забезпечення енергетичної безпеки виступає драйвером диференціації постачання енергоресурсів та стимулом для інвестування у технології відновлюваної енергетики.

Бібліометричний аналіз засвідчить, що близько 25% публікацій за даною тематикою припадає на економічні та суспільні науки. Це свідчить про пошук

шляхів та механізмів підвищення рівня енергетичної безпеки, а відтак потенційне зростання попиту на технології відновлюваної енергетики, які здатні вирішити головну проблему енергетичної залежності – енергетичну бідність.

Поскілки енергетична бідність є фактором, який, з одного боку, стимулює розвиток відновлюваної енергетики, а відповідно впровадження екологічно безпечних енерготехнологій та масштабування успішних проєктів у даному напрямку, а з іншого боку, є причиною широкого використання невідновлюваної енергії, застосування якої було і в більшості сценаріїв залишається більш економічно вигідним в масштабах національних економік, у дослідженні було вивчено наявні напрацювання науковців та дії урядів та міжнародних інституцій щодо подолання енергетичної бідності.

З метоб вивчення сучасного стану та перспектив енергетичного сектору було здійснено дослідження впливу пандемії коронавірусу на довкілля та виявлено тенденції, які мають бути використані під час планування нових та модернізації наявних енергомереж. Було встановлено позитивний вплив COVID-19 на якість довкілля, що було досягнуто внаслідок скорочення економічної активності та соціальної мобільності через обмеження, введені для запобігання поширенню коронавірусної інфекції серед населення. Було встановлено, що позитивний екологічний ефект має тимчасовий характер та нівелюється з відновленням рівня економічної активності. У той же час, досвід протидії коронавірусу та аналіз результатів застосування соціальних обмежень, які були введені, засвідчили вищу адаптивність енергомереж на основі відновлюваної енергії та з розподіленою енергогенерацією до змін попиту та трансформації патернів енергоспоживання. Отримані результати мають бути використані під час розроблення та поширення патернів трансферу енергоінновацій.

У роботі було здійснено аналіз наслідків російсько-української війни для енергетичного сектору України та Європейського Союзу. Визначено пріоритетний сценарій подолання енергетичної кризи, спричиненої дефіцитом

енергоресурсів на енергоринку внаслідок значного скорочення поставок енергоносіїв з російської федерації. Визначено зміни, які необхідні в енергетичній політиці, та кроки, які мають бути здійснені в енергетиці для довгострокової безпеки енергетичної системи та досягнення цілей кліматичної політики.

З метою формування ефективних моделей трансферу енергоінновацій розроблено підхід до моделювання та прогнозування інноваційно-інвестиційного фактору у розвитку відновлювальної енергетики та запропоновано графічну модель, що містить вектори інноваційного, інвестиційного та енергетичного розвитку на базі використання програмного забезпечення для статистичної обробки даних.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. *Goals sustainable development: website. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>* (Last accessed: 07.12.2022).
2. Middleton R. S., Gupta R., Hyman J. D., Viswanathan H. S. The shale gas revolution: Barriers, sustainability, and emerging opportunities. *Applied Energy*. 2017. Vol. 199. P. 88–95. doi:10.1016/j.apenergy.2017.04.034
3. Chauvy R., De Weireld G. CO<sub>2</sub> utilization technologies in Europe: A short review. *Energy Technology*. 2020. Vol. 8, №. 12. doi:10.1002/ente.202000627
4. Sarkodie S. A., Owusu P. A. Escalation effect of fossil-based CO<sub>2</sub> emissions improves green energy innovation. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 785. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147257
5. Liu H., Khan, I., Zakari A., Alharthi M. Roles of trilemma in the world energy sector and transition towards sustainable energy: A study of economic growth and the environment. *Energy Policy*. 2022. Vol. 170. doi:10.1016/j.enpol.2022.113238
6. Hannan M. A., Lipu M. S. H., Ker P. J., Begum R. A., Agelidis V. G., Blaabjerg F. Power electronics contribution to renewable energy conversion addressing emission reduction: Applications, issues, and recommendations. *Applied Energy*. 2019. Vol. 251. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113404
7. Sekoai P. T., Daramola M. O., Mogwase B., Engelbrecht N., Yoro K. O., Petrus du Preez S., Mholongo S., Ezeokoli O. T., Ghimire A., Ayeni A. O., Hlongwane G. N. Revising the dark fermentative H<sub>2</sub> research and development scenario – an overview of the recent advances and emerging technological approaches. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 140. doi:10.1016/j.biombioe.2020.105673
8. Su C. -, Khan K., Umar M., Zhang W. Does renewable energy redefine geopolitical risks? *Energy Policy*. 2021. Vol. 158. doi:10.1016/j.enpol.2021.112566

9. Cheon A., Urpelainen J. Oil prices and energy technology innovation: An empirical analysis. *Global Environmental Change*. 2012. Vol. 22, №. 2. P. 407–417. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.12.001
10. Sovacool B. K., Mukherjee I. Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*. 2011. Vol. 36, №. 8. P. 5343–5355. doi:10.1016/j.energy.2011.06.043
11. Lin B., Chen Y. Impacts of policies on innovation in wind power technologies in China. *Applied Energy*. 2019. Vol. 247. P. 682–691. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.044
12. Johari A., Nyakuma B. B., Mohd Nor S. H., Mat R., Hashim H., Ahmad A., Yamani Z. Z., Tuan Abdullah T. A. The challenges and prospects of palm oil based biodiesel in Malaysia. *Energy*. 2015. Vol. 81. P. 255–261. doi:10.1016/j.energy.2014.12.037
13. Kline K. L., Msangi S., Dale V. H., Woods J., Souza G., Osseweijer P., Clancy J. S., Hilbert J. A., Johnson F. X., McDonnell P. C., Mugera, H. K. Reconciling food security and bioenergy: Priorities for action. *GCB Bioenergy*. 2017. Vol. 9, №. 3. P. 557–576. doi:10.1111/gcbb.12366
14. Silveira S., Khatiwada D., Leduc S., Kraxner F., Venkata B. K., Tilvikine V., Gaubye V, Romagnoli F., Tauraite E., Kundas S., Blumberga D., Peterson K., Utsar K., Vigants E., Kalinichenko A. Opportunities for bioenergy in the Baltic Sea Region. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 128. P. 157–164. doi:10.1016/j.egypro.2017.09.036
15. Souza G. M., Ballester M. V. R., de Brito Cruz C. H., Chum H., Dale B., Dale V. H., Fernandes E. C. M., Foust T., Karp A., Lynd L., Maciel Filho R., Milanez A., Nigro F., Osseweijer P., Verdade L. M., Victoria R. L., Van der Wielen, L. The role of bioenergy in a climate-changing world. *Environmental Development*. 2017. Vol. 23. P. 57–64. doi:10.1016/j.envdev.2017.02.008
16. Kaldellis, J. K., Zafirakis, D. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*. 2011. Vol. 36, №. 7. P. 1887–1901. doi:10.1016/j.renene.2011.01.002

17. Zhang X., Ma C., Song X., Zhou Y., Chen W. The impacts of wind technology advancement on future global energy. *Applied Energy*. 2016. Vol. 184. P. 1033–1037. doi:10.1016/j.apenergy.2016.04.029

18. Bp Statistical Review of World Energy 2022: 71<sup>st</sup> edition. Bp. 2022. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>

19. Kolosok S., Bilan Y., Vasylieva T., Wojciechowski A., Morawski M. A scoping review of renewable energy, sustainability and the environment. *Energies* 2021. Vol. 14(15). P. 24490.

20. Sedmíková E., Vasylieva T., Tiutiunyk I., Navickas. Energy Consumption in Assessment of Shadow Economy. *European Journal of Interdisciplinary Studies*. 2021. Vol. 13(2), P. 47–64. <https://doi.org/10.24818/ejis.2021.12>

21. Melnyk L., Dehtyarova I., Kubatko O., Karintseva O., Derykolenko A. Disruptive technologies for the transition of digital economies towards sustainability. *Economic Annals-XXI*. 2019. Vol. 179(9). P. 22-30

22. Sineviciene L. Sotnyk I., Kubatko O. Determinants of energy efficiency and energy consumption of Eastern Europe post-communist economies. *Energy and Environment*. 2017. 28(8). P. 870–884 URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0958305X17734386>

23. Li R., Kubatko O., Baranchenko Y., Dehtyarova I., Matsenko O., Melnyk L. Environmental and economic analysis of technological innovations in the energy sector. *International Journal of Global Environmental Issues*. 2022. Vol. 21(2-4), P. 182–197. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJGENVI.2022.126204>

24. Kolosok S., Myroshnychenko I., Mishenina H., Yarova I. Renewable energy innovation in Europe: Energy efficiency analysis. *E3S Web of Conferences*. 2021 P. 234. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf\\_icies2020\\_00021/e3sconf\\_icies2020\\_00021.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_icies2020_00021/e3sconf_icies2020_00021.html)

25. Falshtynskiy V., Saik P., Lozynskiy V., Dychkovskiy R., Petlovanyi M. Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12(2), P. 68-75. URL: [http://mining.in.ua/2018vol12\\_2\\_8.html](http://mining.in.ua/2018vol12_2_8.html)
26. Adebola S. M., Opeyemi B. A., Kumar T. The impact of technological innovation on renewable energy production: accounting for the roles of economic and environmental factors using a method of moments quantile regression. *Heliyon*. 2022. Vol. 8 (7). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022012014>
27. Neng S., Yifan W., Hui P., Zhiping H., Renewable Energy Green Innovation, Fossil Energy Consumption, and Air Pollution – Spatial Empirical Analysis Based on China. *Sustainability*. Vol. 2020. 12(16), 6397.
28. Tvaronavičienė M. Clusters, innovations and energy efficiency: if relationship could be traced. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 2, С. 382 – 391 URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/66137/1/Tvaronavi%20c4%20dien%20c4%2097.pdf>
29. Paul K., Donald R. Noble, Jonathan H. Henry J. Implementing Radical Innovation in Renewable Energy Experience. *Energies*. Vol. 2021. Vol. 14(9), P. 236. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2364>
30. Menanteau P. Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. *Energy Policy*. 2003, Vol. 31(8), P. 799-812. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421502001337>
31. Fischer C. Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008. Vol. 55 (2), P. 142-162 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0095069607001064>
32. Popp D. Energy, the Environment, and Technological Change. *Handbook of the Economics of Innovation*. 2010. Vol. 2. P. 873-937. URL: [https://econpapers.repec.org/bookchap/eeehaechp/v2\\_5f873.htm](https://econpapers.repec.org/bookchap/eeehaechp/v2_5f873.htm)

33. Rissman J. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy*. 2020 Vol. – P. 266. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920303603>

34. X Pan. Dynamic relationship among environmental regulation, technological innovation and energy efficiency based on large scale provincial panel data in China. *Technological Forecasting and Social Change*. 2019. Vol. 144. PP. 428-435. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517312027>

35. Yakymenko N.V. Mechanism of strategic import substitution in Ukraine's economy. *Actual Problems of Economics*. 2015. Vol. 172(10). PP. 154-159 URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=ape\\_2015\\_10\\_22](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ape_2015_10_22)

36. Ivanova O., Laptiev V. Tax incentives for innovation in the energy sector. *Acta Innovation*. 2019. Vol. 32. PP. 20–28.

37. Fuentes, R., Galeotti, M., Lanza, A., Manzano, B., COVID-19 and climate change: A tale of two global problems. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12. PP. 1–14. <https://doi.org/10.3390/su12208560>

38. Smiiianov, V. A., Vasilyeva, T. A., Chygryn, O. Y., Rubanov, P. M., & Mayboroda, T. M. SOCIO-Economic patterns of labor market functioning in the public health: challenges connected with COVID-19. *Wiadomosci Lekarskie (Warsaw, Poland: 1960)*. 2020. Vol. 73(10). PP. 2181-2187. Retrieved from <https://wiadlek.pl/wp-content/uploads/archive/2020/WLek202010114.pdf>

39. Serpeninova, Yu., Makarenko, I., Plastun, A., Babko, A., & Gasimova, G. Mapping of the responsible investments instruments in sdg 3 ‘good health and well-being’ financing: EU and US experience. *Health Economics and Management Review*. 2020. Vol. 1(1). PP. 106-115. <https://doi.org/10.21272/hem.2020.1-10>



40. Kuzior, A., Mańka-Szulik, M., & Krawczyk, D. Changes in the management of electronic public services in the metropolis during the covid-19 pandemic. *Polish Journal of Management Studies*, 2021. Vol. 24(2). PP. 261-275. doi:10.17512/pjms.2021.24.2.16

41. Rybak, Aurelia, Rybak, Aleksandra. The impact of the COVID-19 pandemic on gaseous and solid air pollutants concentrations and emissions in the EU, with particular emphasis on Poland. *Energies*. 2021, Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/en14113264>

42. Barua, S., Nath, S.D. The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. *Journal of Cleaner Production*. 2021. P. 298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126755>

43. Kumar, P., Hama, S., Omidvarborna, H., Sharma, A., Sahani, J., Abhijith, K. v., Debele, S.E., Zavala-Reyes, J.C., Barwise, Y., Tiwari, A. Temporary reduction in fine particulate matter due to ‘anthropogenic emissions switch-off’ during COVID-19 lockdown in Indian cities. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 62. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102382>

44. Ali, G., Abbas, S., Qamer, F.M., Wong, M.S., Rasul, G., Irteza, S.M., Shahzad, N. Environmental impacts of shifts in energy, emissions, and urban heat island during the COVID-19 lockdown across Pakistan. *Journal of Cleaner Production*.. 2021. 291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125806>

45. Lalas, D., Gakis, N., Mirasgedis, S., Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Doukas, H. Energy and GHG emissions aspects of the COVID impact in Greece. *Energies*. 2021. Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/en14071955>

46. Latif, M.T., Dominick, D., Hawari, N.S.S.L., Mohtar, A.A.A., Othman, M., 2021. The concentration of major air pollutants during the movement control order due to the COVID-19 pandemic in the Klang Valley, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*. Vol. 66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102660>

47. Othman, M., Latif, M.T. Air pollution impacts from COVID-19 pandemic control strategies in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*. 2021. P. 291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125992>

48. Wang, Q., Li, S. Nonlinear impact of COVID-19 on pollutions – Evidence from Wuhan, New York, Milan, Madrid, Bandra, London, Tokyo and Mexico City. *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 65. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102629>

49. Lalas, D., Gakis, N., Mirasgedis, S., Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Doukas, H. Energy and GHG emissions aspects of the COVID impact in Greece. *Energies*. 2021. Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/en14071955>

50. Das, P., Mandal, I., Debanshi, S., Mahato, S., Talukdar, S., Giri, B., Pal, S. Short term unwinding lockdown effects on air pollution. *Journal of Cleaner Production*. 2021. P. 296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126514>

51. López-Feldman, A., Chávez, C., Vélez, M.A., Bejarano, H., Chimeli, A.B., Féres, J., Robalino, J., Salcedo, R., Viteri, C. Environmental Impacts and Policy Responses to Covid-19: A View from Latin America. *Environmental and Resource Economics*, 2021, Vol. 13. PP. 1-6. <https://doi.org/10.1007/S10640-020-00460-X>

52. Hilares, K., Vargas, R., Gastelo-Roque, J.A. Impact of COVID-19 on the GHG emissions of the Peruvian Interconnected Electrical System, in: Proceedings of the 2020 IEEE 27th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/INTERCON50315.2020.9220258>

53. Logan, B.E., Rossi, R., Baek, G., Shi, L., Oconnor, J., Peng, W., 2020. Energy Use for Electricity Generation Requires an Assessment More Directly Relevant to Climate Change. *ACS Energy Letters*, 2020, Vol. 5. PP. 3514–3517. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.0c02093>

54. Ope Olabiwonna, F., Haakon Bakken, T., Anthony Jnr, B. The role of hydropower in renewable energy sector toward CO2 emission reduction during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Green Energy*. 2021. PP. 52–61. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1930005>

55. Wang, Q., Lu, M., Bai, Z., Wang, K., 2020. Coronavirus pandemic reduced China's CO<sub>2</sub> emissions in short-term, while stimulus packages may lead to emissions growth in medium- and long-term. *Applied Energy*. 2020. P. 278. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115735>

56. Bolaño-Ortiz, T.R., Puliafito, S.E., Berná-Peña, L.L., Pascual-Flores, R.M., Urquiza, J., Camargo-Caicedo, Y. Atmospheric emission changes and their economic impacts during the COVID-19 pandemic lockdown in Argentina. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12. PP. 1–27. <https://doi.org/10.3390/su12208661>

57. Pal, S., Das, P., Mandal, I., Sarda, R., Mahato, S., Nguyen, K.A., Liou, Y.A., Talukdar, S., Debanshi, S., Saha, T.K. Effects of lockdown due to COVID-19 outbreak on air quality and anthropogenic heat in an industrial belt of India. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126674>

58. Goel, A. Impact of the COVID-19 pandemic on the air quality in Delhi, India. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2020. Vol. 19. PP. 1095–1103. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i03.020>

59. Ghosh, S., Das, A., Hembram, T.K., Saha, S., Pradhan, B., Alamri, A.M. Impact of COVID-19 induced lockdown on environmental quality in four Indian megacities Using Landsat 8 OLI and TIRS-derived data and Mamdani fuzzy logic modelling approach. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12135464>

60. Brimblecombe, P., Lai, Y. Subtle changes or dramatic perceptions of air pollution in Sydney during COVID-19. *Environments - MDPI* 8. 2021. PP. 1–15. <https://doi.org/10.3390/environments8010002>

61. Sathe, Y., Gupta, P., Bawase, M., Lamsal, L., Patadia, F., Thipse, S. Surface and satellite observations of air pollution in India during COVID-19 lockdown: Implication to air quality. *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102688>

62. He, C., Yang, L., Cai, B., Ruan, Q., Hong, S., Wang, Z. Impacts of the COVID-19 event on the NO<sub>x</sub> emissions of key polluting enterprises in China. *Applied Energy*. 2020. P. 281. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116042>

63. Zhang, L., Li, H., Lee, W.J., Liao, H. COVID-19 and energy: Influence mechanisms and research methodologies. *Sustainable Production and Consumption*. 2021. Vol. 27. PP. 2134–2152. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.010>

64. Saravanan, M., S, V., P, B., P, B.D. Exploitation of artificial intelligence for predicting the change in air quality and rain fall accumulation during COVID-19. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2020. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1834646>

65. Bai, Y., Zhou, Y., Alatalo, J.M., Hughes, A.C. Changes in air quality during the first-level response to the COVID-19 pandemic in Shanghai Municipality, China. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12. PP. 1–12. <https://doi.org/10.3390/su12218887>

66. Oncioiu, I., Duca, I., Postole, M.A., Georgescu, G.C., Gherghina, R., Grecu, R.A. Transforming the covid-19 threat into an opportunity: The pandemic as a stage to the sustainable economy. *Sustainability (Switzerland)*. 2021. Vol. 13. PP. 1–19. <https://doi.org/10.3390/su13042088>

67. Hoang, A.T., Huynh, T.T., Nguyen, X.P., Nguyen, T.K.T., Le, T.H. An analysis and review on the global NO<sub>2</sub> emission during lockdowns in COVID-19 period. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2021a. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1902431>

68. Polyakov, M., Khanin, I., Bilozubenko, V., Korneyev, M., & Shevchenko, G. Factors of uneven progress of the european union countries towards a circular economy. *Problems and Perspectives in Management*. 2020. Vol. 19(3). PP. 332-344. doi:10.21511/ppm.19(3).2021.27

69. Yusup, Y., Ramli, N.K., Kayode, J.S., Yin, C.S., Hisham, S., Isa, H.M., Ahmad, M.I., 2020. Atmospheric carbon dioxide and electricity production due to

lockdown. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12. P. 1–12.  
<https://doi.org/10.3390/su12229397>

70. Balasubramaniam, D., Kanmanipappa, C., Shankarlal, B., Saravanan, M. Assessing the impact of lockdown in US, Italy and France– What are the changes in air quality? *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 2020. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1837300>

71. EU plans 300-billion-euro investment to quit Russian fossil fuels. URL: <https://www.reuters.com/markets/europe/eu-plans-300-billion-euro-investment-quit-russian-fossil-fuels-2022-05-18/> (дата звернення – 01.12.2022 р.).